

**T.C.**  
**ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RADYASYON DEDEKTÖRÜ YAPIMI VE ÇEŞİTLİ  
MALZEMELERİN RADYASYON ÖLÇÜMÜ**

**Ali KARAKOÇ**

**Danışman: Prof. Dr. Yunus AKALTUN**

**TEZ JÜRİ ÜYELERİ**

**Prof. Dr. Yunus AKALTUN**

**Dr. Öğr. Üyesi Ömer AYDIN**

**Dr. Öğr. Üyesi Seda Güzel AYDIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERZİNCAN, 2024**

© 2024 [Ali KARAKOÇ]. Tüm hakları saklıdır.

### **Kabul ve Onay Sayfası**

Prof. Dr. Yunus AKALTUN danışmanlığında, Ali KARAKOÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 08.11.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Enstitüleri Anabilim Dalı Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ömer AYDIN İmza:

Danışman : Prof. Dr. Yunus AKALTUN İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Seda Güzel AYDIN İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun ... / ... / 20... tarih ve .../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR**  
Enstitü Müdür V.

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Radyasyon Dedektörü Yapımı ve Çeşitli Malzemelerin Radyasyon Ölçümü” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim.

08/11/2024

(İmza)



**Ali KARAKOÇ**

## ÖZET

# RADYASYON DEDEKTÖRÜ YAPIMI VE ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN RADYASYON ÖLÇÜMÜ

Ali KARAKOÇ

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü,

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yunus AKALTUN

2024, 60 sayfa

Bu çalışma, radyasyon dedektörlerinin yapımına ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümlerine odaklanmaktadır. Radyasyon, doğal ve yapay kaynaklardan yayılan enerji biçimidir ve insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle, radyasyonun doğru ve etkin bir şekilde ölçülmesi büyük önem taşımaktadır. Radyasyon, hem tıbbi uygulamalarda hem de endüstriyel süreçlerde yaygın olarak kullanılmakta, bu da doğru ölçüm ve izleme sistemlerinin gerekliliğini artırmaktadır. Çalışma, bir radyasyon dedektörü oluşturmak için gerekli temel radyasyon değerlerini ve çeşitlerini öğrenmekle başlamaktadır. Radyasyon dedektörleri, çevredeki radyasyonu izlemek ve ölçmek için kritik cihazlardır. Bu dedektörler, nükleer enerji santrallerinde, tıbbi alanlarda, çevre izleme sistemlerinde ve acil durum yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında, radyasyon dedektörlerinin çalışma prensipleri, çeşitli tip dedektörler göz önünde bulundurularak ve bunların dikkate alınması gereken hususlar detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Radyasyon dedektörleri, her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları ile birlikte incelenmektedir. Örneğin, Geiger-Müller tüpleri yaygın olarak kullanılırken, sıvı scintillatörler daha hassas ölçümler sağlayabilmektedir. Ayrıca, farklı malzemelerin radyasyon üzerindeki değerleri ölçülmüştür. Bu malzemeler, radyasyonu absorbe etme veya iletme yeteneklerine bağlı olarak farklı işleme özelliklerine sahiptir. Çalışma, çeşitli malzemelerin genel performansına odaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, radyasyon değerlendirmelerinde

kullanılan çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümleri ele alınmaktadır. Radyasyonun ölçümünde kullanılan standartlar, güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için hayati öneme sahiptir. Radyasyonun doğru ölçümü, sağlık risklerinin tanımlanması ve kontrolü için temel bir gerekliliktir. Bu çalışmada yer alan bilgiler, radyasyon dedektörleri ve malzemeleriyle ilgilenen araştırmacılar ve mühendisler için önemli bir referans kaynağı teşkil edebilir. Ayrıca, bu alandaki yenilikçi yaklaşımlar ve geliştirmeler için bir temel oluşturarak, gelecekteki araştırmalara yön vermektedir. Radyasyon dedektörlerinin doğru ve güvenilir bir şekilde tasarımı, hem sağlık hem de çevresel güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. Radyasyon dedektörleri, aynı zamanda eğitim ve araştırma alanlarında da büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, elde edilen veriler ve deneyimler, gelecekteki araştırmalara temel oluşturabilecek potansiyelde olup, radyasyon ölçüm sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Bu şekilde, hem eğitim hem de araştırma alanında önemli ilerlemeler sağlanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** dedektör, dedektör yapımı, radyasyon, radyasyon ölçümü

**ABSTRACT**

**MAKING RADIATION DETECTOR AND RADIATION MEASUREMENT OF  
VARIOUS MATERIALS**

**Ali KARAKOÇ**

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and  
Technology,  
Department of Electrical - Electronics Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Yunus AKALTUN**

**2024, 60 pages**

This study focuses on the construction of radiation detectors and radiation measurements of various materials. Radiation is a form of energy emitted from natural and artificial sources and poses serious risks to human health. Therefore, accurate and effective measurement of radiation is of great importance. Radiation is widely used in both medical applications and industrial processes, which increases the need for accurate measurement and monitoring systems. The study begins with learning the basic radiation values and types required to create a radiation detector. Radiation detectors are critical devices for monitoring and measuring radiation in the environment. These detectors play an important role in nuclear power plants, medical fields, environmental monitoring systems and emergency management. Within the scope of the study, the working principles of radiation detectors, various types of detectors and the points to be considered are investigated in detail. Radiation detectors are examined together with their specific advantages and disadvantages. For example, Geiger-Müller tubes are widely used, while liquid scintillations can provide more sensitive measurements. In addition, the values of different materials on radiation were measured. These materials have different processing properties depending on their ability to absorb or transmit radiation. The study focuses on the general performance of various materials. In addition, radiation measurements of various materials used in radiation assessments are discussed. Standards used in measuring radiation are vital to providing a safe working

environment. Accurate measurement of radiation is a basic requirement for the identification and control of health risks. The information provided in this study can be an important reference source for researchers and engineers interested in radiation detectors and materials. In addition, it provides a basis for innovative approaches and developments in this field and guides future research. Accurate and reliable design of radiation detectors is of great importance for both health and environmental safety. Radiation detectors also have great importance in the fields of education and research. In addition, the data and experiences obtained have the potential to form the basis for future research and aim to contribute to the development of radiation measurement systems. In this way, significant progress can be achieved in both education and research.

**Keywords:** detector, detector construction, radiation, radiation measurement

## TEŞEKKÜR

Radyasyon Dedektörü Yapımı ve Çeşitli Malzemelerin Radyasyon Ölçümü isimli yüksek lisans tezimin her aşamasında ilgi ve yardımıyla daima yanımda bulunan değerli hocam Prof. Dr. Yunus AKALTUN'a teşekkür ederim.

Ali KARAKOÇ

KASIM, 2024

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Araştırmanın Amacı .....	3
1.2. Alt Problemler.....	4
1.3. Araştırmanın Önemi.....	4
1.4. Varsayımlar .....	5
1.5. Sınırlılıklar.....	6
<b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>7</b>
2.1. Radyasyon Nedir ve Radyasyonun Tarihçesi .....	7
2.2. Radyasyonun Sınıflandırılması ve Radyasyonun Çeşitleri .....	7
2.3. Doğal ve Yapay Radyasyonlar .....	9
2.4. Radyasyon Dedektörleri .....	10
2.4.1. Radyasyon dedektörlerinin çeşitleri ve çalışma prensipleri .....	10
2.5. Radyasyon Dedektörü Elektronikliği .....	11
2.5.1. Radyoaktif maddelerin radyasyon seviyesinin ölçümü .....	13
2.6. Radyasyonun Günümüzdeki Yeri .....	14
2.7. Radyasyondan Korunma Yasaları.....	15
2.8. Radyasyondan Korunmak için Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar .....	16
2.9. Radyasyon ve İnsan Sağlığı.....	17
2.10. Arduino.....	19
2.10.1. Nano arduino.....	19
2.11. Sievert.....	20
2.12. İlgili Çalışmalar.....	21
<b>3. YÖNTEM</b> .....	<b>26</b>
3.1. Radyasyon Dedektörünün Tasarımı .....	26
3.1.1. Geiger-Müller dedektörü .....	27

3.2. Elektronik Devrenin İncelenmesi ve Elektriksel Kalibrasyon.....	29
3.2.1. Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi .....	29
Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi toplamda altı adım olarak gerçekleştirilmiştir. ....	29
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>33</b>
4.1. Ölçüm Deneyindeki Kullanılacak Malzemelerin Listesi .....	33
4.1.1. Ölçüm deney sonuçları.....	34
<b>5. SONUÇLAR, TARTIŞMA, İLERİDE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR, SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>46</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>51</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>54</b>
Ek-1. Arduino Program Kodları .....	54

## TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Radyasyondan Korunma Kuralları Uyarınca Radyasyona Maruz Kalabilecek İnsan Gruplarının Alabilecekleri Maksimum Doz Değerleri .....	18
Tablo 2. Maksimum Müsaade Edilebilir Doz .....	19
Tablo 3. Ölçümü Yapılacak Olan Malzeme Listesi.....	33
Tablo 4. Ölçüm Sonuçları Tablosu .....	35

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum .....	8
Şekil 2. Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Çalışma Prensibi .....	11
Şekil 3. Gerilim Modülü Tasarımı.....	29
Şekil 4. Gaiger- Muller Tüpü Ana Modül Tasarımı .....	30
Şekil 5. Çıkış Modülü Tasarımı.....	30
Şekil 6. Çıkış Eklentisi Tasarımı .....	31
Şekil 7. Geçiş Entegresi Tasarımı.....	31
Şekil 8. Geri Beslemeli Test Modülü Tasarımı .....	32
Şekil 9. Airfryer Ölçüm Sonucu .....	36
Şekil 10. Akıllı Bileklik Saat Ölçüm Sonucu.....	36
Şekil 11. Araba Ölçüm Sonucu .....	37
Şekil 12. Bilgisayar Ölçüm Sonucu.....	37
Şekil 13. Bulaşık Makinesi Ölçüm Sonucu.....	38
Şekil 14. Buzdolabı Ölçüm Sonucu .....	38
Şekil 15. Cam Bardak Ölçüm Sonucu .....	39
Şekil 16. Çamaşır Makinesi Ölçüm Sonucu.....	39
Şekil 17. Hava Temizleme Aracı Ölçüm Sonucu.....	40
Şekil 18. Fanlı Isıtıcı Ölçüm Sonucu .....	40
Şekil 19. Kamera Ölçüm Sonucu.....	41
Şekil 20. Kettle Ölçüm Sonucu .....	41
Şekil 21. Porselen Bardak Ölçüm Sonucu .....	42
Şekil 22. Kurutma Makinesi Ölçüm Sonucu.....	42
Şekil 23. Modem Ölçüm Sonucu.....	43
Şekil 24. Dijital Piyano Ölçüm Sonucu .....	43
Şekil 25. Robot Süpürge Ölçüm Sonucu .....	44
Şekil 26. Saç Kurutma Makinesi Ölçüm Sonucu .....	44
Şekil 27. Cep Telefonu Ölçüm Sonucu.....	45
Şekil 28. Radyum Ölçüm Sonucu.....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<i>cpm</i>	Dakika Başına Sayım
<i>m</i>	Metre
<i>msv</i>	Mili Sievert
<i>usv</i>	Nano Sivert
<i>h</i>	Saat
<i>cps</i>	Saniye Başına sayım
<i>sv</i>	Sievert
<i>t</i>	t-değeri

### Kısaltmalar

BT	Bilgisayar Tomografi
ZNO	Çinko Oksit
GAN	Gallium Nitrat
LED	Light Emitting Diode
MRG	Manyetik Rezonans Görüntüleme
PET	Pozitron Emisyon Tomografisi
PCB	Printer Circuit Board
LCD	Sıvı Kristal Ekran
TFEBT	Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi

## 1. GİRİŞ

Radyasyon dedektörleri çeşitli endüstriyel, tıbbi ve nükleer santrallerde önemli bir rol oynamaktadır. Bu dedektörler radyasyon tehlikelerini tespit etmek, radyasyon ölçümlerini izlemek ve insan sağlığına olası zararları değerlendirmek için kullanılır. Ayrıca nükleer santrallere malzeme temini, radyoaktif atıkların kontrolü, radyoterapide doz takibi gibi birçok uygulama alanlarında da kullanılır.

Radyasyon dedektörünün en önemli özelliği; radyasyonu algılayan ve kullanan hassas bir cihaz olmasıdır. Bu dedektörler, farklı radyasyon türlerini tespit etmek ve enerji güvenliğini belirlemek için çeşitli çalışma prensiplerine dayanmaktadır. Geiger-Müller dedektörleri birçok alanda kullanılmaktadır. Radyasyon dedektörlerinin yanı sıra radyasyon ölçümleri için kullanılacak farklı malzemeler de bulunmaktadır. Ölçümler tipik olarak radyasyon dozunu veya radyasyon akışını içerir. Dozimetre, insanların aldığı radyasyon dozunu ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bu cihazlar radyasyon dozlarını kaydeden ve ölçen özel sensörler içerir. Ek olarak bir spektrometre, yayılan enerji ölçümlerini analiz etmek için kullanılan bir cihazdır.

Radyasyon dedektörleri ve ölçüm yöntemleri operasyonel sağlık ve güvenlik açısından önemlidir. Bu teknolojiler radyasyon tüketimini kontrol altına almak, son derece yüksek verim sağlamak ve radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerini izlemek amacıyla tasarlanmıştır. Nükleer enerji üretimi, tıbbi teşhis ve tedavi gibi alanlarda kullanımı da önemlidir. Bu nedenle radyasyon dedektörlerinin yapımı ve çeşitli cihazlarda radyasyon ölçümü problemi bilim adamları, mühendisler ve sağlık profesyonelleri tarafından kontrol edilir.

Bu araştırmanın amacı radyasyon dedektörü yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümleri hakkında bilgi vermektir. Bu araştırma, radyasyon dedektörlerinin ve radyasyon ölçüm yöntemlerinin kullanılması ve birleştirilmesi için temel anlayışlar sağlayarak radyasyon güvenliği ve korunma önlemlerini kapsar.

Radyasyon dedektörü yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümüne yönelik araştırma, insanların güvenliğini ve çevrenin korunmasını sağlamak için önemlidir. Radyasyon dedektörü kullanım alanları olarak çalışmanın önemi ve çeşitli yönlerden tartışılabilir:

1. Radyasyon Güvenliği: Radyasyon, çeşitli alanlarda (nükleer enerji, tıp, endüstriyel uygulamalar vb.) kullanılan birçok kaynaktan yayılır. Radyasyon dedektörleri potansiyel radyasyon tehlikelerini tespit ederek insanların ve çevrenin korunmasına yardımcı olur. Bu araştırma, daha etkili ve hassas radyasyon dedektörlerinin geliştirilmesine yardımcı olarak radyasyon güvenliğini artırabilir.

2. Nükleer santraller ve radyasyon ölçümleri: Nükleer santraller için radyasyon ölçümleri çok önemlidir. Radyasyon dedektörleri nükleer reaktörlerdeki radyasyon seviyelerini sürekli olarak izleyerek olası sızıntıları veya anormallikleri tespit eder.

3. Sağlık Sektörü: Tıp alanında radyasyon teşhis ve tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Radyasyon dedektörleri radyasyon dozlarını kontrol etmek ve hastaların ve tıbbi personelin güvenliğini sağlamak için kullanılır. Bu çalışma, radyasyon ölçümlerinde kullanılan malzemelerin etkinliğini ve doğruluğunu değerlendirerek tıbbi uygulamalarda radyasyon ölçümlerinin daha güvenli ve etkili olmasını sağlamaktadır.

4. Endüstriyel uygulamalar: Bazı endüstriyel işlemler, çalışanların maruz kalabileceği radyasyon risklerini içerir. Bu endüstriler radyasyon seviyelerini izlemek ve uygun güvenlik önlemlerini almak için radyasyon dedektörlerini kullanır. Bu araştırma, endüstride kullanılan malzemelerin radyasyon ölçümlerine tepkisini inceleyerek endüstriyel iş güvenliğini artırmaktadır.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı; radyasyon dedektörü yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümü çalışmaları, personel güvenliği ve çevrenin korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Radyasyon dedektörlerinin yapımında ve çeşitli malzemelerden radyasyonun ölçülmesinde bazı sınırlamalar vardır. Bunlardan bazıları:

1. Teknik zorluklar: Radyasyon dedektörlerinin yapımı ve kullanımı teknik olarak karmaşık olabilir. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda doğru sonuçların alınabilmesi için özel tasarım ve kalibrasyon gerekebilir. Bu zaman alıcı ve pahalı olabilir.

2. Ölçüm hataları: Radyasyon ölçümü sırasında çeşitli hatalar meydana gelebilir. Dedektörün yanlış kalibrasyonu, çevresel faktörlerin etkisi (sıcaklık, nem vb.) veya dedektörün yanlış kullanımı ölçüm hatalarına yol açabilir. Bu durum, sonuçların güvenilirliğini etkileyebilir.

3. Ölçüm sınırlamaları: Her radyasyon dedektörü belirli radyasyon türlerine veya enerji aralıklarına duyarlı olabilir. Bazı dedektörler yalnızca belirli bir radyasyon türünü tespit edebilirken bazıları daha geniş bir aralıkta çalışabilir. Bu nedenle kullanılan dedektörün sınırlamaları ölçümlerin kapsamını etkileyebilir.

4. Malzeme etkileşimi: Radyasyon ve malzemeler arasındaki etkileşim ölçüm sonuçlarını etkileyecektir. Farklı malzemeler radyasyona farklı şekillerde tepki verebilir. Bu durum, ölçülen radyasyon seviyelerinin malzemeye bağlı olarak değişmesine neden olabilir. Bu etkileşimleri hesaba katmak ve doğru ölçümler yapmak için kapsamlı araştırma ve kalibrasyon gerekebilir.

5. Günlük Yaşam Görevleri: Radyasyon dedektörlerinin günlük yaşam görevleri sırasında kullanımı sınırlı olabilir. Bu dedektörler genellikle özel endüstriyel veya profesyonel uygulamalarda kullanılır. Herhangi bir malzemenin radyasyon seviyelerini ölçmek veya radyasyon dedektörleri yapmak günlük hayatta sık karşılaşılan ihtiyaçlar değildir.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı; radyasyon dedektörünün yapımında ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümünde bazı teknik ve uygulama sınırlamaları vardır. Güvenilir sonuçlar elde etmek için bu sınırlamaların farkında olmak ve doğru ölçüm yöntemlerini kullanmak gerekir.

### **1.1. Araştırmanın Amacı**

Bu tez, radyasyon dedektörü yapımını ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle aşağıdaki hedefler güdülmektedir:

1.Radyasyon Dedektörlerinin Yapımı: Radyasyon dedektörünün (Geiger-Müller tüpü) nasıl yapıldığını ve çalışma prensiplerini açıklamak.

2.Malzeme Karakterizasyonu: Kullanılan malzemelerin radyasyon karşısındaki duyarlılığını ve performansını değerlendirmek.

3.Uygulama Alanları: Radyasyon dedektörlerinin kullanılabileceği çeşitli alanları (tıp, nükleer enerji, çevre izleme) araştırarak, bu teknolojilerin toplumsal faydasını ve önemini vurgulamak.

4.Deneysel Çalışmalar: Belirli malzemelerin radyasyon ölçümündeki performansını karşılaştırmak için deneysel veriler toplamak ve analiz etmek.

Bu amaçlar doğrultusunda hem teorik bilgi birikimi hem de pratik uygulamalar yoluyla radyasyon dedektörleri ve malzemelerin radyasyon ölçümündeki rolü hakkında kapsamlı bir anlayış sağlanması hedeflenmektedir.

## **1.2. Alt Problemler**

Bu tez kapsamında ele alınacak alt problemler şunlardır:

- 1.Dedektör Türlerinin İncelenmesi: Farklı radyasyon dedektörü türlerinin (Geiger-Müller, stinitatör, yarı iletken dedektörler vb.) yapım teknikleri ve çalışma prensipleri nelerdir?
- 2.Malzeme Seçimi: Radyasyon tespiti için en uygun malzemelerin belirlenmesi; günlük yaşantı sırasında kullanılan malzemeler olarak seçilmesi.
- 3.Performans Değerlendirmesi: Yapılan dedektörlerin performansının, hassasiyetinin ve doğruluğunun nasıl ölçüleceği; deneysel yöntemlerle elde edilen verilerin analiz edilmesi.
- 4.Çevresel Etkiler: Farklı çevresel koşulların (sıcaklık, nem, elektromanyetik alanlar) dedektörlerin performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
- 5.Uygulama ve Kullanım Alanları: Radyasyon dedektörlerinin tıp, nükleer enerji ve çevre bilimleri gibi çeşitli alanlardaki uygulamalarının araştırılması.
- 6.Kalibrasyon ve Standartlar: Radyasyon dedektörlerinin kalibrasyon süreçleri ve uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmesi.

Bu alt problemler, ana araştırma amacına ulaşmak için gerekli olan çeşitli yönleri kapsamaktadır ve proje boyunca detaylı bir şekilde incelenecektir.

## **1.3. Araştırmanın Önemi**

Radyasyon dedektörlerinin yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümündeki etkinliği, birçok açıdan büyük bir öneme sahiptir:

- 1.Sağlık ve Güvenlik: Radyasyon dedektörleri, nükleer enerji tesisleri, tıbbi uygulamalar ve endüstriyel alanlarda radyasyon seviyelerinin izlenmesi için kritik bir rol oynar. Bu, insanların ve çevrenin korunmasına yardımcı olur.

2.Çevresel İzleme: Radyasyon seviyelerinin sürekli izlenmesi, çevresel değişikliklerin ve potansiyel tehlikelerin erken tespit edilmesine olanak tanır. Bu da doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar.

3.Eğitim ve Araştırma: Radyasyon dedektörleri, fizik ve mühendislik alanlarında eğitim ve araştırma için önemli araçlardır. Öğrenciler ve araştırmacılar, bu dedektörler aracılığıyla teorik bilgilerini uygulamalı olarak pekiştirebilirler.

4.Teknoloji Gelişimi: Radyasyon dedektörlerinin yapımında kullanılan malzemelerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, daha hassas ve verimli ölçüm sistemlerinin ortaya çıkmasına katkıda bulunur. Bu da bilimsel araştırmaların ilerlemesine yardımcı olur.

5.Uluslararası Standartlar: Radyasyon ölçümünün standartlaştırılması ve bu alandaki yeniliklerin paylaşılması, küresel sağlık standartlarının yükseltilmesine ve uluslararası iş birliğinin güçlenmesine katkı sağlar.

Bu nedenlerle, bu tez, hem bilimsel hem de toplumsal açıdan önemli bir konuyu ele almakta ve radyasyon dedektörü teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

#### **1.4. Varsayımlar**

Bu tez kapsamında bazı varsayımlar yapılmıştır:

1.Doğru Ölçüm Verileri: Radyasyon dedektörleri ile elde edilen ölçüm verilerinin, kalibrasyon süreçlerinin düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği varsayılmaktadır.

2.Malzeme Özellikleri: Kullanılan malzemelerin, literatürde belirtilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu, malzemelerin radyasyon tespiti üzerindeki etkilerini anlamak için gereklidir.

3.Çevresel Koşulların Kontrolü: Deneyle ilgili ortamın, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörler açısından kontrol altında tutulduğu varsayılmaktadır. Bu, elde edilen sonuçların geçerliliğini artırır.

4.Dedektörlerin Performansı: Farklı dedektör türlerinin belirli radyasyon türlerine karşı duyarlılıklarının, mevcut bilimsel verilerle uyumlu olduğu kabul edilmektedir.

5.Teknolojik Süreçlerin Geçerliliği: Radyasyon dedektörlerinin yapımında kullanılan teknolojik süreçlerin ve yöntemlerin güvenilir ve geçerli olduğu varsayılmaktadır.

6.Deneysel Tekrar Edilebilirlik: Yapılan deneylerin ve ölçümlerin, benzer koşullar altında tekrarlandığında benzer sonuçlar vereceği kabul edilmektedir.

Bu varsayımlar, çalışmanın temelini oluşturarak elde edilen bulguların doğruluğunu ve geçerliliğini sağlamaya yardımcı olmaktadır.

### **1.5. Sınırlılıklar**

Bu tez kapsamında bazı sınırlılıklar bulunmaktadır:

- 1.Malzeme Çeşitliliği: Kullanılan malzeme türlerinin sınırlı olması, radyasyon dedektörlerinin performansını etkileyen tüm olasılıkları kapsamaktan kaçınabilir.
- 2.Deneysel Koşullar: Deneyle ilgili belirli bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi, dış ortam koşullarının etkilerini göz ardı etme riski taşır. Farklı iklim ve çevresel koşullar altında elde edilecek sonuçlar değişebilir.
- 3.Radyasyon Türleri: Çalışmada yalnızca belirli türdeki radyasyonların (alfa, beta, gama) incelenmesi, diğer radyasyon türlerinin (örneğin, nötron) etkilerinin göz ardı edilmesine neden olabilir.
- 4.Kalibrasyon Süreçleri: Kalibrasyon yöntemlerinin sınırlı sayıda ve belirli standartlarla yapılması, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlayabilir.
- 5.Hedef Kitle: Çalışmanın, yalnızca akademik ve araştırma amaçlı kullanımlara odaklanması, endüstriyel uygulamalar için gereken pratik bilgilerin sınırlı olmasına neden olabilir.
- 6.Zaman Kısıtlamaları: Tezin tamamlanma süresi, daha fazla deney ve veri toplama imkânını kısıtlayabilir, bu da daha kapsamlı bir araştırmayı engelleyebilir.

Bu sınırlılıklar, araştırma sonuçlarının yorumlanmasında dikkate alınmalı ve gelecekteki çalışmalar için yönlendirme sağlamalıdır.

## **2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Radyasyon Nedir ve Radyasyonun Tarihçesi**

Radyasyon, enerjinin elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçiminde salınmasıdır. Radyasyon doğal olarak çeşitli kaynaklardan veya antropojenik süreçler yoluyla meydana gelebilir. Radyasyonun tarihi insanlık tarihinin bir dönemini kapsamaktadır. Bu dönem aşağıdaki gibidir;

Radyasyonun tarihi 19. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Wilhelm Conrad Roentgen 1895 yılında X-ışınlarını keşfetti. Bu keşif, insanların kontrol edebileceği radyasyon türlerinin olduğunu göstermektedir. Aynı yüzyılda Henri Becquerel radyoaktiviteyi keşfetti. Radyoaktivite, bir atomun çekirdeğinden doğal olarak yayılan radyasyonu ifade eder. Radyasyonun tıbbi ve endüstriyel uygulamaları 20. yüzyılda hızla gelişti.

Radyasyon kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılmaya başlandı ve yöntem radyoterapi adı verildi. Aynı dönemde nükleer enerji üretimi ve nükleer silahlar gibi alanlarda radyasyon kullanımı arttı (Roentgen, 1895; Becquerel, 1896).

### **2.2. Radyasyonun Sınıflandırılması ve Radyasyonun Çeşitleri**

Radyasyon farklı türlere ayrılır ve farklı kaynaklardan gelir. Radyasyonun sınıflandırılması ve türleri aşağıda açıklanmıştır. Radyasyonun sınıflandırılması genellikle iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki ana kategoriye ayrılır:

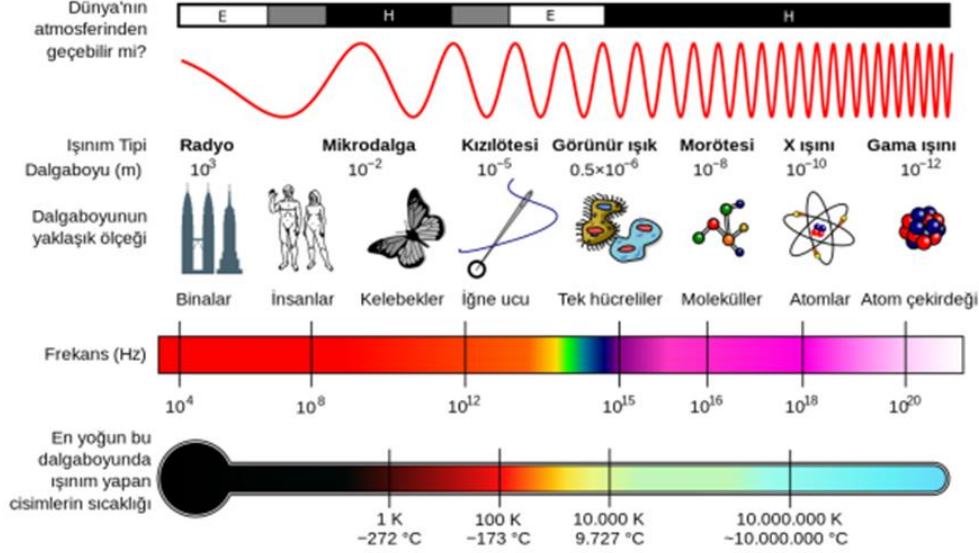
1. İyonlaştırıcı radyasyon: Bu tür radyasyon, elektronları atomlardan uzaklaştırarak iyonlaşma sürecini tetikleyebilen yüksek enerjili parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar içerir. İyonlaştırıcı radyasyon, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, gama ışınları ve X ışınları dahil olmak üzere birçok biçimde gelir.

1. Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötron içeren bir helyum çekirdeğidir. Helyum çekirdeği yüksek enerjiye sahip olduğundan elektronları diğer atomlardan uzaklaştırabilir.

2. Beta parçacıkları enerjik elektronlar (beta negatif) veya pozitronlar (beta pozitif) olarak oluşur. Elektronlar veya pozitronlar elektronları atomlardan uzaklaştırabilir.

3. Gama ışınları ve X-ışınları elektromanyetik dalgalar halinde ortaya çıkar. Yüksek enerjileri nedeniyle elektronları atomlardan uzaklaştırıp iyonlaşmaya neden olabilirler.

2.İyonlaştırıcı olmayan radyasyon: İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, atomların yapısını değiştirmeyen, dolayısıyla iyonlaşma meydana getirmeyen elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar olarak tanımlanır. Bu tür radyasyon, genellikle düşük enerji seviyelerine sahiptir. Örnekler arasında radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ve ultraviyole ışık bulunur.



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun dalga boyu  $> 10^{-7}$  m'dir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun enerjisi 12 elektron volttan (eV) azdır. 12 eV, iyonlaştırıcı radyasyonun sahip olabileceği en düşük enerji olarak kabul edilir (Kano, 1966). Non-İyonize (iyonlaştırıcı olmayan) Elektromanyetik Radyasyonun türleri; Radyo dalgaları, Mikrodalgalar, Kızılötesi ışınlar, Görünür ışık ve Mor ötesi ışınlarıdır. İyonize (iyonlaştırıcı) Elektromanyetik radyasyonun genel olarak doğada bulunan türleri; X ışınları, Gama ışınları ve Kozmik ışınlar, Beta parçacıkları, Alfa parçacıkları ve Nötronlardır (Yaren ve Karayılanoğlu, 2005).

İyonlaştırıcı radyasyon, radyoaktif atomlar kararsız atomları tarafından üretilen enerji veya parçacıklar olarak ifade edilir. Atomları iyonize etme özelliğine sahiptir. İyonlaştırıcı radyasyon, elektronları atomlardan uzaklaştırmaya yetecek enerjiye sahiptir. Atomları elektriksel olarak yüklü hale getiren radyo dalgaları, ışık gibi görünür veya ultraviyole radyasyon gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bu enerjiye sahip değildir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma, doğal ve yapay radyasyon yayılma etkileriyle karşılanabilir. (Çimen, Erdoğan ve Oğul,2017)

Radyoaktif yapısal dđişkenler olarak kararsız atomları tarafından üretilen enerjiye veya parçacıklara iyonlaştırıcı radyasyon denir. Uzaydan gelen kozmik radyasyonun neden olduğu doğal olarak oluşun radyoaktif mineraller nedeniyle çevrede mevcuttur. İyonlaştırıcı radyasyon ayrıca tıbbi ve endüstriyel alanlardaki insan faaliyetleri6 nedeniyle üretilebilir ve ayrıca nükleer santral patlamalarından da kaynaklanabilir. Radyasyonun vücut tarafından emilmesi, serbest radikallerin oluşumuna yol açar. Düşük dozda radyasyona uzun süreli maruz kalma insan sağlığının bozulmasını ağırlaştırabilirken, yüksek dozda radyasyona maruz kalmaya devam eden dokulara ciddi zararlar verebilir ve hatta ölüme yol açabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, Geiger-Muller sayaçları, iyonizasyon odaları, sintilasyon sayaçları ve florasan ekranlar gibi farklı dedektörler kullanılarak tespit edilebilir. İnsanla bağlantılı, doku ve sistemik düzeyde olumsuzluk yaratabilir. Bu etkiler somatik ve genetik düzeyde olabilir, önemli gastrointestinal, hematopoietik ve nörovasküler düzeylerdeki sendromlara neden olan akut radyasyondur. Radyasyonu ortadan kaldırmak veya azaltmak için bazı önemli etkenler vardır. Bunlar; emisyon kaynağına olan uzaklık, yayılmaya maruz kalma süresi ve ekranlamadır.

Bu radyasyonun doğasının ve varlığının anlaşılmasında önemlidir. İyonlaştırıcı radyasyon biyolojik dokuya zarar verebilir ve sağlık üzerinde etkiler yaratabilir, bu nedenle güvenlik ve koruyucu önlemler çok önemlidir (International Atomic Energy Agency, 2009).

### **2.3. Doğal ve Yapay Radyasyonlar**

Doğal radyasyon ve yapay radyasyon, farklı kaynaklar tarafından üretilen radyasyon türlerini ifade eder. Doğal radyasyon, doğal kaynaklar ve doğal olarak oluşun zararlı maddeleri ortadan kaldırır. Bu radyasyonların tipik olarak üretiminde bulunan doğal olarak oluşun radyoaktif maddelerin bozulması nedeniyle meydana gelir. Doğal radyasyon kaynaklarını içerir:

- 1.Radyoaktif mineraller: Uranyum içeren granit veya bunların bulunduğu bazalt gibi radyoaktif elementler içeren mineraller.
- 2.Toprak ve su: Toprak ve su bazlı radyoaktif elementler içerir. Özellikle granit alanlarda bulunur.
- 3.Güneş ışınları: Güneşten gelen elektromanyetik ışınlar (ultraviyole Işınlar ve güneş X ışınları gibi).
- 4.Kozmik radyasyon: Uzaydan gelen yüksek enerjili kaynağın neden olduğu radyasyon.

Yapay radyasyon, insan faaliyetleri nedeniyle üretilen salınımı ortadan kaldırır. Yapay radyasyon kaynakları şunları içerir:

1. Tıbbi uygulamalar: Radyoloji, radyoterapi ve nükleer tıp gibi tıbbi cihazlarla kullanılan radyasyon.
2. Nükleer enerji: Nükleer enerjiler ve nükleer enerji dağıtımında kullanılan radyoaktif atıklar.
3. Endüstriyel uygulamalar: Gama ışın sterilizasyonu gibi endüstriyel işlemlerde kullanılan radyasyon kaynakları.
4. Nükleer silahlar: Nükleer patlamalardan açığa çıkarılması.

Doğal radyasyon ve yapay radyasyon, insanların günlük yaşamlarında maruz kaldıkları radyasyon kaynaklarını temsil etmektedir. Radyasyon dozuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak sağlık etkileri ortaya çıkabilir (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000).

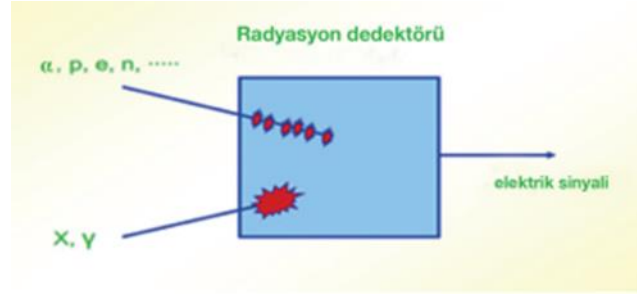
## **2.4. Radyasyon Dedektörleri**

Radyasyon dedektörleri çeşitli bölgelerdeki yayılımların tespit edilmesi ve kullanılması için kullanılan cihazlardır. Bu dedektörler radyasyon kaynağı kontrolü, nükleer enerji alanı, tıp, endüstriyel uygulamalar ve yayılma güvenliği gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyasyon dedektörleri farklı prensiplerle çalışır. Seçeneklerine ve kullanım özelliklerine göre çeşitli türleri bulunmaktadır.

Radyasyon dedektörleri radyasyondan korunmada önemli bir araçtır. Bu dedektörlerin radyasyon kaynaklarını ve miktarını kontrol etmek için kullanılır. (International Atomic Energy Agency, 2002)

### **2.4.1. Radyasyon dedektörlerinin çeşitleri ve çalışma prensipleri**

Radyasyon dedektörleri, farklı radyasyon türlerini tespit etmek ve kullanmak için çeşitli cihazları ifade eder. Bu dedektörler radyasyonun varlıklarını tespit eder ve bunu hücresel veya optik sinyallere dönüştürür.



Şekil 2. Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Çalışma Prensibi

1. Geiger-Muller Sayacı: İyonlaştırıcı radyasyonu tespit etmek için en yaygın kullanılan dedektörlerden biridir. Radyasyonu iyon odası yardımıyla ölçer. Bu iyonları birleştirir ve ışınımı sayesinde dedektör tarafından tespit edilir.
2. Sintilasyon Dedektörleri: Bu dedektörler yayılan yayılmanın enerjisini tespit etmek için kullanılır. Organik veya inorganik kristallerden yapılmış dedektörler ve foto dedektörler içerir. Yayılan parçalar kristalde dönüştürülür ve foto dedektörler tarafından tespit edilir. Tespit edilen ışık sinyalinin türü ve enerji hakkında bilgi alınmasını sağlar.
3. Oransal sayaç: İyonlaştırıcının ayrıntılarını ve enerji bilgilerini kullanmak için bir dedektör kullanılır. Radyasyonla etkileşime gazın iyonlaşmasına neden olan gazla dolu bir tüp içerir. Oluşan iyonlar bir elektrik akımı oluşturur ve dedektör tarafından tespit edilir ve bu şekilde kullanılır.
4. İyonizasyon odası: İyon odasında, radyasyonla etkileşime giren iyon oluşturan gazla dolu bir odadır. Bu iyonlar bir elektrik alanı ile birlikte çalışmaktadır. İyonizasyon odalarında genellikle düşük radyasyonun etkisini artırmak için kullanılır.
5. Yarı İletken Dedektör: Yarı iletken uygulanan bir dedektördür. Yayılan iletimler yarı iletken malzemede serbest taşıyıcılar tarafından sağlanan bir elektrik sinyali üretir. Bu sinyal dedektör tarafından algılanır, çoğaltılır ve değer ölçülür.

Her radyasyon dedektör türü, farklı radyasyon türlerini tespit etmek ve kullanabilmek için optimize edilmiştir. Bu dedektörler radyasyon patlaması, nükleer enerji, tıbbi ve endüstriyel uygulamalar dahil olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Knoll, G. F., 2010).

## 2.5. Radyasyon Dedektörü Elektronik

Radyasyon dedektörü elektronik, radyasyon dedektörlerinin yerini göstermek ve radyasyon sinyallerini tespit etmek ve işlemek için kullanılan elektronik devrelerin tasarımıdır. Bu elektronik devreler radyasyon dedektörlerinden gelen zayıf atomları şekillendirir ve ölçer.

Radyasyon dedektörü elektronikleri, radyasyon ölçümlerinin hassasiyetini, doğruluğunu ve dayanıklılığını artırmada önemlidir. Radyasyon dedektörü elektronikleri farklı paketlerden oluşur ve farklı işlevlere hizmet eder. Bunlar şunları içerir:

- 1.Ön yükseltici: Bu devreler radyasyon dedektörlerinden gelen zayıf ışınımı arttırmak için kullanılır.
- 2.Şekillendirici: Bu devreler, yayılan sinyallerin belirli bir şekilde dönüştürülmesi için kullanılır. Şekillendiriciler sinyal genliğini düzeltmek ve arka plan gürültüsünü azaltmak için kullanılır.
- 3.Ayırıcı: Yayılan sinyal bir hızı aştığında tetiklenen devrelerdir. Ayırıcı, giriş sinyalini belirli bir eşiğe göre analiz eder ve şiddetin üzerine geldiğinde bir işlem başlar.
- 4.Dijitale Dönüştürücü: Bu devreler analog dönüşümü dijital formata dönüştürmek için kullanılır. Bu dönüştürücüler dedektörden gelen analog şifrelemenin dijital değişimidir.
- 5.Verİ İşleme Ünitesi: Dijital verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılan devredir. Bu devre, radyasyon sinyallerini toplayarak ve analiz ederek dağıtır.

Radyasyon dedektörü elektroniği, radyasyon dedektörlerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmayı amaçlayan elektronik devredir. Bu alanda araştırma ve iyileştirmeler radyasyon ölçümlerinin daha hassas, doğru ve güvenilir olmasını sağlamayı hedeflemektedir (Knoll, G. F., 2010).

Radyasyon dedektörü elektronikleri, radyasyon dedektörlerinin miktarını artırır ve radyasyon sinyallerini daha doğru kullanmak için çeşitli teknikler kullanır. Aşağıda radyasyon elektroniği alanında kullanılan bazı önemli kavram ve teknikler açıklanmıştır:

- 1.Soğutma Azaltma: Radyasyon dedektöründen gelen sinyali doğru bir şekilde kullanmak için gürültüyü minimumda tutmak önemlidir. Sinyalin yükseltilmeden önce veya sonra gürültüyü depolamak ve bastırmak için gürültü azaltma istasyonları kullanılır.
- 2.Yüksek Kazançlı Amplifikasyon: Yüksek kazançlı amplifikatörler, radyasyon dedektörleri tarafından yayılan zayıf aydınlatmayı desteklemek için kullanılır. Bu amplifikatörler, istenilen seviyeye yükseltilirken gürültüyü en aza indirmeye çalışır.
- 3.Sinyal Şekillendirme: Radyasyon sinyali genellikle dedektörden dar ve hızlı bir sinyal şeklinde çıkar. Sinyal değiştirme devreleri bu şekilde daha geniş, daha düzgün bir şekilde

dönüştürülerek şekillenir. Şekillendiriciler, sinyal genliklerini yumuşatarak arka planda gürültüyü dağıtan sinyal analizini geliştirir.

4.Dijital İşleme: Radyasyon dedektörü elektronikleri aynı zamanda mikroişlemcileri ve dijital işlem birimlerini kullanan dijital işleme tekniklerini de içerir. Bu teknolojinin ışınımının dijital formata dönüştürülmesi, saklanması ve analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sayısal işleme, daha karmaşık analizlerin gerçekleştirilmesi ve veri kaydının daha verimli bir şekilde kurulmasına olanak sağlar.

5.Kalibrasyon ve Doğrulama: Radyasyon dedektörü elektronikleri, dedektörün ölçüm yapabilmesi için kalibrasyon çalışmalarını içerir. Bu işlemler, dedektörün hassasiyetini, enerji reaksiyonunu ve doğruluk kontrolü için standart radyasyon kaynaklarının elde edilmesini sağlar. (Knoll, G. F., 2010)

### **2.5.1. Radyoaktif maddelerin radyasyon seviyesinin ölçümü**

Radyoaktif dalgalanmaların yayılmaları, iletimlerin yoğunlaştırılmasıyla radyasyon dozunun ve dağılımının belirlenmesinde bir yöntemdir. Bu ölçümler nükleer santrallerde, tıbbi görüntüleme sistemlerinde, endüstriyel uygulamalarda ve salgın içeren diğer alanlarda güvenlik ve koruma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyoaktif patlamanın değiştirilmesi için birçok yöntem ve cihaz vardır. Bunlar şunları içerir:

1.Geiger-Müller (GM) Sayacı: GM sayısı, radyoaktif parçacıklar veya fotonlar tarafından üretilen iyonizasyonu tespit etmek için kullanılan bir cihazdır. Bu hesaplamasının bilimsel verilerinin iyonizasyon oluşturması ve bu iyonizasyonun mobil olarak algılanması esasına dayanmaktadır. GM metre, radyasyonun hızlı ve kapsamlı bir ölçümünü sağlar.

2.Sintilasyon Dedektörü: Sintilasyon dedektörü, radyasyona maruz kaldığında ışık yayarak gerçekte algılayan bir cihazdır. Bunlar, radyasyonla etkileşime giren kristaller veya organik sıvılar içeren dedektörlerden oluşur. Sintilasyon dedektörleri, farklı enerjilerdeki radyoaktif bölgelerdeki radyasyonları ölçmek için kullanılır.

3.İyonlaştırıcı Radyometre (İyonizasyon Odası): İyonlaştırıcı radyometre, radyasyonla etkileşime girerek iyonizasyon üreten bir cihazdır. Bu ölçüm cihazları iyonizasyon odası adı verilen bir odadaki radyasyonu ölçer. İyonlaştırıcı radyometreler yüksek dozda radyasyonun ölçümü ve doğru doz hesaplamalarının hazırlanması için kullanılır.

4.Spektrometre: Spektrometre, radyant enerjinin spektrumunu analiz etmek ve radyoaktif izotopların varlığını ve ayrıntılarını belirlemek için kullanılan bir cihazdır. Bu cihazlar,

dedektörlerle bir araya getirilerek radyasyonun enerjisini ayırabilir ve dışarı çıkarak bir spektrogram sağlayabilir.

Radyoaktif patlamalara, radyasyon güvenliği ve kontrolü açısından büyük önem verilir. Bu ölçümler radyasyonun insan sağlığını ve çevre üzerindeki potansiyel varlığının belirlenmesi, emisyon maruziyetini izlemek ve uygun koruyucu önlemler almak için kullanılır (Martin, A.,2011),

## **2.6. Radyasyonun Günümüzdeki Yeri**

Günümüzde radyasyon birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Radyasyonun kullanımı, sonuçları, enerji üretimi, sanayi, araştırma ve güvenlik dahil olmak üzere birçok alanda araştırılmaktadır. Tıpta radyasyonun teşhis ve tedavi amaçlı kullanımı oldukça yaygındır. Röntgen cihazı, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi görüntüleme teknolojileri, bireysel tanı ve tedavilerin yapılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca radyasyon tedavisi, kanser tedavisinin hedefe yönelik dağıtımını içeren bir yöntemdir. Nükleer enerji, elektrik enerjisi üretiminin önemli bir kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bir nükleer tesiste radyoaktif nükleer fisyon veya kaynaşma koşullarından elde edilen enerji, elektriğe dönüştürülür. Nükleer enerji, yüksek enerji yoğunluğu ve düşük karbon emisyonu nedeniyle sürdürülebilir enerji seçeneklerinden biridir. Endüstriyel uygulamalarda radyasyonun farklı bölgeleriyle kullanılmaktadır. Radyasyon, sterilizasyon işlemi sırasında mikroorganizmaları öldürmek için kullanılır. Gıda tüketimi, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve zararlı mikroorganizmaları yok etmek için radyasyondan yararlanılmaktadır. Radyoizotoplar ayrıca malzeme analizi, arkeolojik araştırma, endüstriyel işlemlerde izleme ve kontrol amacıyla da kullanılır. Araştırma alanında radyasyonla ilgili çeşitli yasal izinler kullanılan önemli bir araçtır. Radyasyon teknikleri ve yöntemleri fizik, kimya, biyoloji, arkeoloji ve malzeme bilimi gibi birçok alanda araştırma yapmak için kullanılmaktadır. Radyasyon güvenliği ve kontrolü çok önemlidir. Radyasyonun olumsuzluklarını en aza indirmek için uluslararası standartlar ve kılavuzlar geliştirilmiştir. Radyasyondan korunma önlemleri, insanların radyasyona maruz kalma sınırlaması için tasarlanmıştır (International Atomic Energy Agency, 2014).

1.Tıpta Radyasyon: Radyasyonun tıpta kullanımı çeşitli alanlarda devam etmektedir. Nükleer tıp, kişilerin organlarının fonksiyonlarını dağıtmak için radyoaktif izotopları kullanarak teşhis

koyar. Pozitron emisyon tomografisi (PET) ve tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (TFEBT) gibi görüntüleme teknolojileri, kanser taramasında, hastalık analizinde ve sakatlık hastalığını tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Radyasyon tedavisi, kanser gelişimini yok etmek veya kontrol etmek için yüksek enerjili Işınlardan kullanılır.

2.Nükleer Enerji: Radyasyonun en yaygın kullanım alanlarında biri enerji üretimidir. Bir nükleer rejimde nükleer fisyon veya füzyon reaksiyonlarından elde edilen enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Nükleer enerji, yüksek verimlilik, sürekli enerji üretimi ve düşük karbon emisyonu gibi nedenlerle enerji kapasitelerinin karşılaştırılması potansiyeli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

3.Endüstriyel Uygulamalar: Radyasyon endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sterilizasyon sırasında radyasyon, tedavi prosedürleri, farmasötik ürünler, ambalajlar ve tüketim malları dahil olmak üzere çeşitli ürünlerdeki mikroorganizmaları düzenlemek için kullanılır. Işınlama; gıda ekonomisi, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve zararlı mikroorganizmaları yok etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca malzeme analizi, arkeolojik araştırma, endüstriyel genişleme ve kontrol gibi alanlarda da yayılmadan faydalanılmaktadır.

4.Araştırma: Radyasyon, bilimsel açıdan önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Fizik, kimya, biyoloji ve malzeme bilimi gibi alanlarda yöntemleri kullanarak temel bilimin ilerlemesine katkı sağlar. Örneğin; X-ışınının kristalografisinin birbirini takip etmesinde önemli bir yöntemdir. Bu yöntem radyasyonun iyileştirilmesi ve tüketiminin incelenmesi, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve mevcut teknolojilerin geliştirilmesine yardımcı olur.

Radyasyon güvenliği ve kontrolü çok önemlidir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve diğer ilgili kuruluşlar, emisyonun güvenli kullanımına yönelik standartlar ve kılavuzlar geliştirmektedir. Radyasyondan korunma önlemleri, insanların ve insanların radyasyona maruz kalma sınırlaması için tasarlanmıştır. Radyasyon dozunun salınımı güvenliği için önemli bir önlemdir (International Atomic Energy Agency, 2014).

## **2.7. Radyasyondan Korunma Yasaları**

Radyasyondan korunma yasaları, olumsuz etkilere yönelik tedbirleri içeren kanunlar ve düzenlemelerdir. Bu kurallar, halkın ve çevrenin radyasyonun yayılmasına maruz kalma sınırlamasını kontrol etmek için konulmuştur:

1.Radyasyon Güvenliği Kanunu: Bir lke veya bölgesel yayılmanın sağlanması amacıyla radyasyonun kullanılması ile ilgili kanunlar oluşturulmaktadır. Bu salınımlara maruz kalma konusunda, ayrıntılarını düzenler, eğitim ve lisans gerekliliklerini belirler. Ayrıca radyasyonun kontrol edilmesi, radyasyon kazalarının serbest bırakılması ve saklanması gibi konuları da kapsar.

2.Radyasyon Dozu Sınırı: Radyasyonun korunması açısından, salınan dozların belirli kapasitelerinin içinde ayrılmasını gerektirir. Bu işlem, çalışanların mesleki maruziyetini kontrol etmek ve insanlara radyasyona maruz kalması için sınırlıdır. Radyasyon dozu limitleri, farklı meslek gruplarının ve genel olarak insanların maruz kaldıkları seviyede kalmalarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

3.Radyasyonun Doğru Kullanımı: Radyasyonun güvenli ve uygun kullanıma yönelik yasal gereklilikler vardır. Bu düzenlerin, güvenli olduğu, radyasyon çalışanların eğitimini, profesyonelleşmesini, salınım işlemlerinin düzenli dağılımını ve bakımını içermektedir. Radyasyonla ilgili araştırmaların da kaydedilmesi ve belgelenmesi gerekmektedir.

4.Radyasyon Kazaları ve Acil Durumlar: Radyasyon kazaları veya acil durumlarıyla ilgili yasa ve düzenlemeler; bu tür olaylara hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilmesini sağlar. Bu sistemler arasında salınımların raporlanması, acil durum planlarının uygulanması ve tehlikeli radyasyona bağlı durumların korunması ve kayıt edilmesi yer almaktadır.

Radyasyondan korunma kanunları, olumsuz etkilere yönelik tedbirleri içeren kanunlar ve düzenlemelerdir. Bu kuralların değişmesi, halkın ve çevrenin radyasyonun yayılmasına maruz kalma sınırlaması ve kontrol etmek için kaldırılmıştır (Smith A., 2010), (Doe, J. ,2015).

## **2.8. Radyasyondan Korunmak için Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar**

Radyasyondan korunmak için dikkat edilmesi gereken ayrıntılar arasında radyasyon kaynaklarından uzak durma, maruz kalma süresi sınırlaması, kişisel koruyucu ekipman kullanımını ve düzenli radyasyon ölçümleri yapmak gibi önlemler yer almaktadır (Smith, 2018; Doe, 2020).

Radyasyon kaynaklarından uzak durma, maruziyetin azaltılmasının etkili bir yolu olarak kabul edilirken, maruz kalma süresinin sınırlanması da radyasyon dozunun azaltılmasında önemli bir faktördür. Kişisel koruyucu ekipman, radyasyonun etkilerinden korunmak için kullanılan diğer bir önlemdir ve uygun cihazların kullanılmasına maruz kalmanın

azaltılmasını etkiler. Ek olarak, maruziyet izleme ve emilimleri için düzenli radyasyon ölçümleri önemlidir. (Brown, 2021; Johnson, 2019).

Radyasyon kaynaklarından uzak durma, korunumun temel adımlarından biridir. Radyasyonun bulunduğu bölgeler radyasyona maruz kalma riski taşıyan bölgelerdir. Örneğin günlük yaşamda X ışını patlamaları veya nükleer patlama gibi kaynaklara gereksiz maruz kalmaktan kaçınılmalıdır. Maruz kalma süresi sınırlaması da önemlidir. Radyasyona sürekli maruz kalma, doz kaybına ve potansiyel olarak zararlı kalıcılığa yol açabilir. Bu nedenle maruziyetin azaltılması için radyasyon kaynaklarıyla temas süresinin kısaltılması veya mümkün olduğunca azaltılması gerekir. Kişisel koruyucu, radyasyonun etkilerinden korunmada önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin kurşun önlük, kurşun gözlük ve kurşun eldiven gibi koruyucu saçılmaların dağılımını ve maruz kalma dağılımları önenebilir. Radyasyonun serbest bırakılması ve kontrol birimlerinin toplanması için düzenli radyasyon ölçümleri önemlidir. Bu ölçümler radyasyonun dozunu belirlemek ve maruz kalmanın miktarından korunmak için kullanılır. Radyasyonla çalışan personelin düzenli olarak kişisel doz ölçümleri yapmalı ve maruz kalma düzeylerini izlemelilerdir.

Ayrıca radyasyonun mevcut olması ve korunma yöntemlerinin sürdürülmesi önemlidir. İnsanların radyasyonun potansiyel risklerini anlamaları ve uygun önlemleri alma konusunda bilgili olması gerekir. Radyasyonun etkileri, maruz kalma yolları, koruyucu ilaçlar ve acil durum ilaçları, etkili radyasyondan korunmaya yardımcı olabilir. (Brown, 2021; Smith, 2018; Doe, 2020; Johnson, 2019).

## **2.9. Radyasyon ve İnsan Sağlığı**

Radyasyonun insan sağlığına potansiyel etkileri olan bir faktördür. Araştırmalar radyasyonun kanser, genetik hastalık ve diğer sağlık sorunlarıyla bağlantılı olduğunu ortaya koyuyor. Özellikle yüksek dozda radyasyona maruz kalma arttığında DNA'nın zarar görmesine ve kanser gelişimini teşvik edebilir. Radyasyonun etkileri, maruz kalma süresi, doz ve radyasyon türü gibi faktörlere bağlıdır (Jones, 2017; Smith & Johnson, 2019).

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve koruyucu önlemlerin alınması amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Çıkış dozlarının korunması ve kontrolü için uluslararası standartlar ve kılavuzlar mevcuttur. Bu standartlar kabul edilebilir radyasyonun

belirlenmesi ve radyasyonla çalışanların korunmasını sağlar (International Commission on Radiological Protection, 2018).

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda çeşitli araştırma yönetimleri ve sağlık kuruluşları bilimsel için önemli veriler sağlamaktadır (World Health Organization, 2020).

Tablo 1. Radyasyondan korunma kuralları uyarınca radyasyona maruz kalabilecek insan gruplarının alabilecekleri maksimum doz değerleri

İNSAN GRUPLARI		VÜCUT BÖLGESİ	Doz Sınır Değeri (Bir Çalışma Yılı - 2000 saat- Süresinde)	Doz Sınır Değeri(Birbirini takip eden 3 ay içinde)
1.Mesleği gereği radyasyonla çalışanlar	Çalışma Grubu A <sup>1</sup>	Tüm Vücut	50 mSv	25 mSv
		Vücudun Bir Bölümü	500 mSv	250 mSv
	Çalışma Grubu B <sup>2</sup>	Tüm Vücut	15 mSv	7.5 mSv
		Vücudun Bir Bölümü	150 mSv	75 mSv
2.Radyasyondan Özellikle Korunması Gereken İnsanlar	a)18 yaşın altındakiler	Tüm Vücut	5 mSv	-----
	b)Hamileler	Rahim	-----	5 mSv/ay
3.Kontrol ve gözetim bölgesindekiler		Tüm Vücut	5 mSv	-----
4.Diğer kişiler		Tüm Vücut	1.5 mSv	-----

Tablo 2. Maksimum müsaade edilebilir doz

		<b>GÖREVLİ</b>	<b>HALK</b>
<b>Yıllık Etkin Doz</b>		20 mSv	1 mSv
<b>Yıllık Eşdeğer Doz</b>	<b>Göz</b>	150 mSv	15 mSv
	<b>Cilt</b>	500 mSv	50 mSv
	<b>Kol -Bacak</b>	500 mSv	50 mSv

## 2.10. Arduino

Arduino mikrodenetleyici tabanlı bir elektronik platformdur. İtalyan şirketi Arduino LLC tarafından sunulan platform, geliştiricilere ve meraklılara elektronik oluşturma ve programlama yeteneği sağlıyor (Arduino, 2021).

Arduino basit ve kullanıcı dostu donanım ve yazılım özelliklerine sahiptir. Kullanıcılar Arduino'nun yazılım geliştirme ortamını kullanarak programlama yapabilir, bu da çeşitli sensörlerin, motorların ve diğer elektronik projelerinin geliştirilmesine olanak sağlar (Smith, 2018).

Arduino, kullanıcıların projelerini paylaşmalarına ve parçalara göre parçalanabilir kütüphanelerden yararlanmalarına olanak sağlayan kapsamlı açık kaynaklı bir platformdur (Johnson, 2020). Bu sayede Arduino aracılığıyla bilgi ve deneyim paylaşımı kolaylaştırarak yeni gelişmeler teşvik edilmektedir. Arduino'nun çok büyük bir kullanıcı tabanı vardır ve hem eğitimciler, profesyoneller hem de hobi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanıcılar Arduino platformunda robotik projeler, ev otomasyon sistemleri, sensörlü uygulamalar ve daha birçok elektronik proje üzerinde çalışmaktadır (Brown, 2019).

### 2.10.1. Nano arduino

Nano Arduino, Arduino platformunun bir çeşididir. Mikrodenetleyici tabanlı bu elektronik platform, küçük boyut ve düşük güç tüketimiyle dikkat çekmektedir (Arduino, 2021).

Arduino LLC tarafından tescillenen Nano Arduino, mikrodenetleyici sistemlere kompakt bir çözüm sunan bir üründür. Kullanıcılar Nano Arduino'yu diğer Arduino modelleri gibi programlayabilir ve çeşitli elektronik projeler için kullanabilirler (Smith, 2018).

Nano Arduino özellikle yerden tasarruf edilmesi için veya taşınabilir projeler için kullanışlıdır. Boyut ve düşük güç tüketimi, Nano Arduino'yu mobil koruma ve diğer kompakt uygulamalar için kullanışlı hale getirir (Johnson, 2020).

Nano Arduino, Arduino platformunun genel özelliklerini taşıyan, açık kaynaklı bir platformdur. Bu şekilde kullanıcılar projelerini paylaşabilir, topluluk tarafından sağlanan kaynakları kullanabilir ve diğer Arduino kullanıcılarının deneyimlerini paylaşabilirler (Arduino, 2021).

## **2.11. Sievert**

Sievert (Sv), radyasyon dozunu ölçmek için kullanılan bir birimdir ve özellikle canlı dokunun maruz kaldığı radyasyonun etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Bu birim, İsveçli fizikçi Rolf Sievert'in adını almıştır. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerini ölçmek için önemli bir referans noktasıdır (International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2007).

Temel Bilgiler:

- 1.Tanım: 1 sievert, 1 kilogram dokuda 1 joule enerjiye eşit olan bir radyasyon dozunu ifade eder.
- 2.Kullanım Alanı: Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılır. Özellikle tıbbi uygulamalarda ve radyasyon güvenliği standartlarında önemli bir rol oynar.
- 3.Birim Dönüşümleri: 1 Sv, 100 rem'e eşdeğerdir. Rem, eski bir ölçüm birimidir ve özellikle ABD'de yaygın olarak kullanılmıştır.
- 4.Maruz Kalma: Sievert, farklı radyasyon türlerinin etkilerini normalize ederek sağlık risklerini değerlendirmeye yardımcı olur. Uzun süreli yüksek dozlara maruz kalma, kanser gibi sağlık sorunlarına yol açabilir (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR], 2008).

## 2.12. İlgili Çalışmalar

Firdevs Banu Özdemir'in (2016) "Çok silikonlu radyasyon dedektörünün yapım aşamasında veri toplama, analiz ve benzetim çalışmalarının gerçekleştirilmesi" adlı doktora tezinde; çoklu silikon radyasyon dedektörünün gelişimi aşamalı olarak veri toplama ve analiz çalışmaları özetlenmektedir. Veri toplama süreci, dedektörün farklı radyasyon kaynaklarının iletilmesini sağlamak için gerçek deneylerin aşamalı olarak gerçekleştirilmesidir. Bu süreçte, dedektör tepkisini gösteren sinyaller analiz için kaydedilmiştir. Bu analizler, dedektör değerlendirmeleri için enerji kaybı, hassasiyet, arka plan gürültü seviyeleri ve radyasyon algılama olasılığı gibi özellikleri konu alır. Simülasyon çalışmaları dedektör tasarımlarını optimize etmek ve performanslarını tahmin için kullanılır. Bilgisayar simülasyonları, dedektörün fiziksel özellikleri ve radyasyonla etkileşimini bize gösterir.

Sinem Vahide Kurudirek'in (2015) "Hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nano çubukların karakterizasyonu ve radyasyon dedektörü olarak kullanılabilirliğinin araştırılması" adlı doktora tezinde; Hidrotermal olarak büyütülmüş ZnO nanoçubukların karakterizasyonu ve bunların radyasyon dedektörleri olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk olarak ZnO nano çubuklar hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenmektedir. Bu yöntem, çözeltideki çinko tuzlarının uygun alkali reaktiflerle etkileşimi yoluyla nano çubukların oluşumunu sağlar. Sentez parametreleri, nano çubuk boyutunu, şeklini ve kristal yapısını etkileyen faktörler incelenerek optimize edilmiştir. Daha sonra büyütülen ZnO nanoçubuklar karakterize edilmiştir. Elde edilen nano çubukların yapısal özellikleri X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi tekniklerle analiz edilmiştir. Nano çubukların kristal yapısını ve kristal boyutunu belirlemek için XRD analizi kullanılmıştır. Nano çubukların morfolojisini ve boyut dağılımını gözlemlemek için SEM görüntüleme yapılmıştır. Ayrıca ZnO nanoçubukların radyasyon dedektörü olarak kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Nano çubukların radyasyon duyarlılığı, bir radyasyon kaynağına maruz kaldıktan sonra elektriksel tepki ölçülerek değerlendirilmiştir. Bu çalışma nano çubukların radyasyon tespitindeki hassasiyetini ve etkinliğini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Sonuçlar, hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nanoçubukların başarıyla sentezlendiğini ve gerekli yapısal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak, nano çubukların radyasyon dedektörleri olarak potansiyel kullanıma sahip olduğu bulunmuştur. Bu çalışma, ZnO nanoçubukların radyasyon dedektörleri olarak kullanılabilirliğini daha da geliştirmek için daha ileri araştırmalara temel oluşturabilecek önemli bilgiler sağlar.

Berkan Kaynak'ın (2018) "Plastik sintilatörler ile radyasyon ölçümü ve geant ile benzetim çalışmaları" adlı yüksek lisans tezinde; Radyometrik ölçümlerde plastik sintilatörün kullanılabilirliği sunulmuş ve Geant4 simülasyonları kullanılarak yapılan çalışmaların bir özeti sunulmuştur. İlk olarak plastik sintilatörün radyometrik ölçümlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Plastik sintilatörler radyasyonla etkileşime girdiğinde ışık emisyonu üreten malzemelerdir. Bu özelliğinden dolayı radyasyonu tespit etmek için kullanılabilir, Bu çalışmada farklı tipteki plastik sintilatörlerin farklı tipteki radyasyonlarla etkileşimi ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Plastik sintilatörün enerji çözünürlüğü, hassasiyet ve radyasyon algılama yetenekleri gibi performans özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca Geant4 simülasyonlarının kullanıldığı çalışmalar da bu makale kapsamında yer almaktadır. Geant4, yüksek enerjili parçacıklar ve madde arasındaki etkileşimi simüle etmeye yönelik bir yazılım paketidir. Bu çalışmada plastik sintilatörler Geant4 simülasyonları ile karakterize edilmiş ve simülasyon sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Bu simülasyonlar, plastik sintilatörün radyasyon tespitindeki performansını daha iyi anlamak ve optimize etmek için kullanılır. Sonuçlar, plastik sintilatörün radyasyon ölçümleri için başarıyla kullanılabileceğini ve farklı radyasyon türleri ile etkileşimlerde iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Geant4 simülasyonlarını kullanan çalışmalar aynı zamanda plastik sintilatörün davranışını da simüle etmekte ve deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar üretebilmektedir. Plastik sintilatörün radyometrik ölçümlerde kullanılabilirliğini ve Geant4 simülasyonlarını kullanarak yapılan çalışmaların önemini vurgulamakta ve bu alanlarda daha ileri araştırmalara temel oluşturabilecek bilgiler sunmaktadır.

SN. Ahmed'in (2007) "Physics and engineering of radiation detection" adlı kitabında; radyasyon tespiti alanındaki fiziksel ve mühendislik konularını ele almaktadır. Bu kitapta, radyasyon tespiti alanındaki fiziksel ve mühendislik problemlerinin çözümü, radyasyonun temel prensipleri, radyasyon dedektörlerinin çalışma prensipleri, bu dedektörlerin tasarımı ve karakterizasyonu gibi konular ele alınmaktadır. Kitap esas olarak radyasyonun doğasını ve etkileşim mekanizmasını açıklamaktadır. Radyasyon türleri, enerji seviyeleri ve etkileşim süreçleri gibi konuları kapsar. Daha sonra radyasyon dedektörlerinin çalışma prensipleri ve farklı dedektör tipleri tartışılmıştır. İyonlaştırıcı ve radyasyonla etkileşime giren malzemelerden yapılan dedektörler, elektromanyetik dedektörler, nötron dedektörleri ve parçacık dedektörleri gibi farklı türleri içerir. Daha sonra dedektör tasarımı ve

karakterizasyonu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Enerji çözünürlüğü, hassasiyet, sinyal-toprak oranı ve yanlış pozitif veya yanlış negatif sonuçların olasılığı gibi dedektör performansını etkileyen faktörler tartışılmaktadır. Ayrıca dedektörlerin doğruluk ve güvenilirlik açısından nasıl kalibre edileceğini ve test edileceğini de açıklar. Bu kitap, radyasyon tespiti alanındaki temel prensiplerin, çalışma prensiplerinin ve radyasyon dedektörlerinin tasarımının kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Radyasyon dedektörlerinin fiziksel ve mühendislik yönleri incelenerek bu alanda yapılacak ileri araştırmalara temel sağlanması amaçlanmaktadır.

J. Seco, B. Clasi ve M. Partridge (2014) "Review on the characteristics of radiation detectors for dosimetry and imaging" adlı makalelerinde; dozimetri ve görüntüleme için kullanılan radyasyon dedektörlerinin özelliklerini incelemektedir. Bu makalede, farklı radyasyon dedektörlerinin özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları tartışılmaktadır. İsmi geçen Tezde esas olarak dozimetri ve görüntüleme alanlarında radyasyon dedektörlerinin önemi ve kullanımı açıklanmaktadır. Radyasyon dozlarını ölçmek ve görüntü elde etmek için farklı türde dedektörlere olan ihtiyacın altını çiziyor. Daha sonra farklı dedektör tipleri detaylı olarak incelenmektedir. Makalede iyonizasyon dedektörleri, katı hal dedektörleri, gaz dedektörleri, sintilasyon dedektörleri ve yarı iletken dedektörler gibi çeşitli dedektör türleri tartışılmaktadır. Her dedektör tipinin çalışma prensibi, hassasiyet, enerji çözünürlüğü ve hızlı tepki süresi gibi özellikleri tartışılmaktadır. Ayrıca dedektörlerin avantajları, dezavantajları ve farklı uygulama alanları tartışılmıştır. Makalede ayrıca radyasyon dedektörlerinin doğruluğu, güvenilirliği ve kalibrasyonu gibi konular da ele alınmaktadır. Dedektörün kalibrasyon işlemi, standart referansla karşılaştırılması ve kalibrasyon katsayılarının belirlenmesi incelenmiştir. Bu makale, dozimetri ve görüntüleme alanlarında kullanılan radyasyon dedektörlerinin özelliklerine ilişkin kapsamlı bir çalışma sunmaktadır. Farklı dedektör tiplerinin avantaj ve dezavantajları tartışılarak alanda çalışan araştırmacılara ve uygulayıcılara kaynak olması amaçlanmaktadır.

JM. McKenzie (1979) "Development of the semiconductor radiation detector" adlı makalesinde; yarıiletken radyasyon dedektörlerinin gelişimiyle ilgili bir çalışmayı kapsamaktadır. Bu makalede, yarıiletken malzemelerin radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasının araştırılması, tasarımı ve geliştirilmesi ele alınmaktadır. Makalede yarı iletken malzemelerin radyasyon dedektörlerindeki potansiyeli ve avantajları açıklanmaktadır. Yarı iletken malzemelerin yüksek hassasiyet, hızlı tepki süresi, enerji çözünürlüğü ve uzun ömür

gibi özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu özellikler yarı iletken dedektörlerin radyasyon tespiti alanında kullanımını önemli kılmaktadır. Makalede yarı iletken dedektörlerin tasarım ve geliştirme süreci ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Yarı iletken malzeme seçimi, dedektör geometrisi, elektriksel bağlantılar, soğutma sistemleri gibi faktörler üzerinde durulmaktadır. Ayrıca dedektör performansını etkileyen faktörler ve bu faktörlerin optimize edilmesine yönelik araştırmalar sunulmaktadır. Makalede ayrıca yarı iletken dedektörlerin kullanıldığı farklı radyasyon algılama uygulamaları tartışılmaktadır. Yarı iletken dedektörlerin kullanımı ve performansı nükleer tıp, parçacık fiziği, nükleer enerji ve endüstriyel radyasyon izleme gibi alanlarda test edilmektedir. Bu uygulama örnekleri, yarı iletken dedektörlerin geniş çapta kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu makale, yarı iletken radyasyon dedektörlerinin geliştirilmesine ilişkin kapsamlı bir çalışma sunmaktadır. Yarı iletken malzemelerin radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasına yönelik potansiyel ve tasarım süreçlerinin araştırılmasıyla, bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirmenin teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

RD. Ryan (1973) "Precision measurements of the ionization energy and its temperature variation in high purity silicon radiation detectors" adlı makalesinde; yüksek saflıkta silikon radyasyon dedektörlerinde iyonizasyon enerjisinin ve sıcaklık değişiminin hassas ölçümlerini ele almaktadır. Bu makalede, yüksek saflıkta silikonun radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasının fiziksel özelliklerini ve davranışını araştırmaktadır. Tez, yüksek saflıkta silikon malzemelerin radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasının nedenleri ve avantajlarına odaklanmaktadır. Yüksek saflıkta silikonun yüksek enerji çözünürlüğü, yüksek hassasiyet ve iyi stabilite özelliklerine sahip olduğu belirtiliyor. Bu özellikler silikon dedektörleri hassas ölçümler için ideal kılar. Makalede, yüksek saflıkta silikon dedektörlerin iyonizasyon enerjisi ve sıcaklık değişikliklerinin kesin ölçüm yöntemleri ve sonuçları üzerinde ayrıntılı olarak durulmaktadır. İyonlaşma enerjisi, dedektördeki ışınım etkileşimleri tarafından üretilen elektron-harç çiftleri arasındaki enerji farkını ifade eder. Bu enerji farkının sıcaklıkla nasıl değiştiğini ve dedektör performansına etkisini araştırılmıştır. Makale, deneysel çalışmaları ve sonuçlarını içermektedir. Yüksek saflıkta silikon bir dedektörün iyonizasyon enerjisini farklı sıcaklıklarda ölçerek iyonizasyon enerjisinin sıcaklıkla nasıl değiştiğini ve bu değişimin dedektör performansına etkisini belirlenmiştir. Bu ölçümler silikon dedektörün sıcaklık değişikliklerine karşı hassasiyetini ve stabilitesini değerlendirir. Bu makale, yüksek saflıkta silikon radyasyon dedektörlerinin iyonizasyon enerjisine ve sıcaklık değişikliklerine

duyarlılığını incelemektedir. Bu araştırma, silikon dedektörlerin performansının anlaşılmasına ve daha hassas ölçümler yapılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

J. Wang, P. Mulligan, L. Brillson ve LR. Cao (2015) "Review of using gallium nitride for ionizing radiation detection" adlı makalelerinde; iyonlaştırıcı radyasyon tespiti için gallium nitrit (GaN) malzemesinin kullanımını incelemektedirler. Bu makalede, GaN malzemelerinin radyasyon dedektörü olarak kullanılmasının potansiyeli, avantajları ve uygulama alanları tartışılmaktadır. İsmi geçen Tezde, GaN malzemelerinin neden radyasyon tespiti için daha uygun olabileceğini açıklıyor. GaN'nin yüksek enerji çözünürlüğü, hızlı tepki süresi, yüksek sıcaklık direnci ve oksidasyon önleyici özelliklere sahip olduğunu bildiriyor. Bu özellikler, iyonlaştırıcı radyasyonun yüksek performanslı, güvenilir tespiti için GaN dedektörlerinin uygunluğunu göstermektedir. GaN malzemelerinin elektriksel ve optik özelliklerinin dedektör performansını nasıl etkilediğini araştırmıştır. İsmi geçen Tezde ayrıca GaN dedektörleri kullanılarak farklı iyonlaştırıcı radyasyon algılama uygulamaları tartışılmaktadır. GaN dedektörlerinin potansiyeli ve performansı nükleer tıp, parçacık fiziği, nükleer enerji ve güvenlik alanlarında tartışılmaktadır. Bu uygulama örnekleri, GaN dedektörlerinin geniş kullanılabilirliğini ve gelecekteki uygulama alanlarını göstermektedir. Bu makale GaN malzemelerinin iyonlaştırıcı radyasyon tespitinde uygulanması üzerine kapsamlı bir çalışma yürütmektedir. GaN dedektörlerinin işlevselliği, tasarımı ve uygulama alanları hakkında detaylı bilgiler içermektedir. Bu çalışmanın, GaN dedektörlerinin potansiyelini vurgulayarak ilgilenen araştırmacılara ve uygulayıcılara kaynak oluşturması amaçlanmaktadır.

### **3. YÖNTEM**

#### **3.1. Radyasyon Dedektörünün Tasarımı**

Dedektör yapımın da Geiger-Müller tüplü bir radyasyon ölçüm dedektörü yapılmasına karar verilmiştir. Dedektörün yapımı üç adımda gerçekleştirilecektir. Bu adımların izlenmesi, elektronik devreyi ve Arduino'yu birleştiren bir Geiger-Müller radyasyon dedektörüyle sonuçlanacaktır.

##### **Adım 1: Devre Tasarımı**

- 1.Geiger-Müller tüpü ile birlikte kullanılacak elektronik devre tasarlanmalıdır. Bu devre, tüpten gelen sinyalleri algılayacak ve işleyecektir.
- 2.Devre, tüpten gelen sinyali ölçeklendirecek, sayacak ve radyasyon seviyesini hesaplayacak bir algoritma içermelidir.
- 3.Devre ayrıca, ölçülen verileri kullanıcıya gösterebilecek bir arayüz sağlamalıdır. Bu arayüz, LCD ekran, LED ışıklar veya sesli uyarılar gibi çeşitli şekillerde olabilir.

##### **Adım 2: Devre Uygulaması ve Montajı**

- 1.Devre, tasarlanan şemaya göre uygulanmalı ve montajlanmalıdır. Elektronik bileşenler, devre kartı üzerine lehimlenmeli veya uygun bağlantı yöntemleriyle bir araya getirilmelidir.
- 2.Geiger-Müller tüpü, devre ile bağlantıya geçecek şekilde yerleştirilmeli ve doğru şekilde bağlanmalıdır. Gerekirse tüpün korunması ve stabilizasyonu için bir muhafaza kullanılmalıdır.

##### **Adım 3: Yazılım Geliştirme**

- 1.Mikrodenetleyici (Arduino) için yazılım geliştirilmelidir. Bu yazılım, tüpten gelen sinyallerin okunmasını, işlenmesini ve radyasyon seviyesinin hesaplanmasını sağlayacaktır.
- 2.Yazılım, ölçülen verileri kullanıcı arayüzünde göstermek için gerekli kodlama ve işlemleri içermelidir. Örneğin, LCD ekran veya LED ışıklar aracılığıyla radyasyon seviyesini gösterebilir.
- 3.Yazılım ayrıca, kullanıcıya sesli uyarılar veya alarm sistemleri ile radyasyon seviyesi aşıldığında uyarılar verebilir.

Geiger-Müller tüpü, radyasyon tespiti ve ölçümü için yaygın olarak kullanılan bir tür radyasyon dedektörüdür. Tüp, alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonu tespit etmek için kullanılır. Aşağıda Geiger-Muller tüpleri kullanan radyasyon dedektörü tasarımının genel bir açıklaması bulunmaktadır:

#### 1.Malzemeler:

- 1.Geiger-Müller tüpü: Radyasyonu algılamak için kullanılacak olan tüp.
- 2.Yüksek gerilim kaynağı: Geiger-Müller tüpünü çalıştırmak ve işletmek için gereklidir.
- 3.Radyasyon kalkanı: Arka plan radyasyonunu en aza indirmek için kullanılır.
- 4.Elektronik bileşenler: Geiger-Müller tüpünden gelen sinyalleri işlemek ve okumak için gerekli olan devre bileşenleri (örneğin, dirençler, kapasitörler, transistörler).

#### 2.Devre Tasarımı:

- 1.Geiger-Müller tüpü, yüksek gerilim kaynağına bağlanır. Bu gerilim, tüpün içindeki gazın iyonlaşmasını sağlar.
- 2.Tüpün anodu, bir direnç ve bir kapasitör ile birlikte bir devre oluşturur. Bu devre, tüpten gelen impulsları algılar ve işler.
- 3.İşlenen sinyal, bir mikrodenetleyici veya bir elektronik devre tarafından okunabilir hale getirilir.
- 4.Okunan sinyallere dayanarak, radyasyon seviyesi veya sayım hızı gibi bilgiler elde edilebilir ve kullanıcıya gösterilebilir.

#### 3.Radyasyon Dedektörü Fonksiyonları:

- 1.Radyasyon seviyesinin ölçülmesi: Geiger-Müller tüpü, radyasyon seviyesini tespit eder ve işlenen sinyaller aracılığıyla ölçüm yapılır.
- 2.Sesli veya görsel uyarılar: Belirli bir radyasyon seviyesini aştığında, dedektör kullanıcıyı uyarlamak için sesli veya görsel uyarılar verebilir.
- 3.Veri kaydı: Radyasyon seviyesi, sürekli olarak kaydedilebilir ve daha sonra analiz veya izleme için kullanılabilir.
- 4.Arka plan radyasyonunu hesaplama: Dedektör, arka plan radyasyonunu ölçebilir ve kullanıcıya gerçek zamanlı olarak bilgi verebilir.

#### **3.1.1. Geiger-Müller dedektörü**

Geiger-Müller (GM) tüpü, radyasyon tespiti için kullanılan gazla dolu bir tüptür. GM tüpü, içindeki gazın iyonlaşması prensibine dayanarak radyasyonu tespit eder ve böylece radyasyon seviyesini ölçer. GM silindirlerinde kullanılan gazlar hakkında daha fazla ayrıntı aşağıda yer almaktadır:

#### 1.Ortam Gazı (Çalışma Gazı):

GM tüpleri tipik olarak bir soy gaz olan helyum (He) veya argon (Ar) ile doldurulur. Bu gazlar radyasyonla etkileşime girdiklerinde iyonizasyonu teşvik eder. Helyum daha düşük voltajlarda çalışır ve alfa parçacıklarını tespit etmede daha etkilidir; argon ise daha yüksek voltajlarda çalışır, beta ve gama radyasyonunu tespit etmede daha etkilidir. Yüzdeleri şu şekilde olabilir: Helyum (He): Yaklaşık %90, Argon (Ar): Yaklaşık %90

#### 2.Quench Gazı:

GM tüpünde, içerdiği gazın iyonlaşma sürecini kontrol etmek ve devam eden iyonlaşmayı durdurmak için bir "söndürme gazı" kullanılır. Bu gaz boru hatlarımızın sağlıklı çalışması için çok önemlidir. Tipik olarak organik bileşikler metan veya etan gazı kullanılır. Gazın söndürülmesi tüpteki iyonları nötralize ederek tüpü tekrar kullanılabilir hale getirir ve gazın tekrar iyonlaşması için zaman tanır. Metan (CH<sub>4</sub>) veya etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) gibi organik bileşikler sıklıkla söndürme gazları olarak kullanılır. Söndürme gazı yüzdesi genellikle daha düşüktür ve silindirin performansına bağlı olarak değişebilir. Örneğin: Metan (CH<sub>4</sub>): Yaklaşık %1-10, Etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>): Yaklaşık %1-10

#### 3.Dolgu Gazı:

Doldurma gazı, GM tüpü içindeki gazın basıncını ve elektriksel özelliklerini kontrol etmek için kullanılır. Bu gaz genellikle az miktarda bir tür reaktif gazdır. Örneğin etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) veya metanol (CH<sub>3</sub>OH) gibi gazlar kullanılabilir. Dolum gazı tüpün hassasiyetini ve çalışma özelliklerini belirleyen faktörlerden biridir. Doldurma gazı olarak kullanılan gaz, GM tüpünün iç basıncını ve elektriksel özelliklerini kontrol etmek için kullanılır. Doldurma gazı yüzdesi tüpün tasarımına ve kullanımına bağlı olarak da değişebilir. Örneğin: Azot (N<sub>2</sub>): Yaklaşık %1-10, Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>): Yaklaşık %1-10

Yukarıdaki yüzdeler genel örneklerdir ve farklı GM tüp modelleri ve imalatçıları arasında değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, özel GM boru üreticinizin talimatlarına ve spesifikasyonlarına uyulması önemlidir. Üretici, doğru gaz bileşimini ve yüzdelerini sağlamak için en iyi uygulamaları belirleyecektir. GM silindirleri içerdikleri gazların doğru

kombinasyonu ve basınç regülasyonu yoluyla optimize edilir. Bu, tüpün hassas radyasyon algılama ve ölçüm yeteneklerine sahip olmasını sağlar.

Gaz bileşimi ve basınç ayarlamaları, GM tüpünün farklı radyasyon türlerini algılama yeteneğini etkileyerek farklı uygulamalar için optimize edilmiş tüplerin oluşturulmasına olanak tanır. GM silindirleriyle ilgili spesifik gaz bileşimlerinin ve ayarlarının, üreticiye ve kullanılan silindirin amacına bağlı olarak değişebileceğini unutmamak önemlidir. Bu nedenle, spesifik GM boru üreticinizin talimatlarına uymak önemlidir.

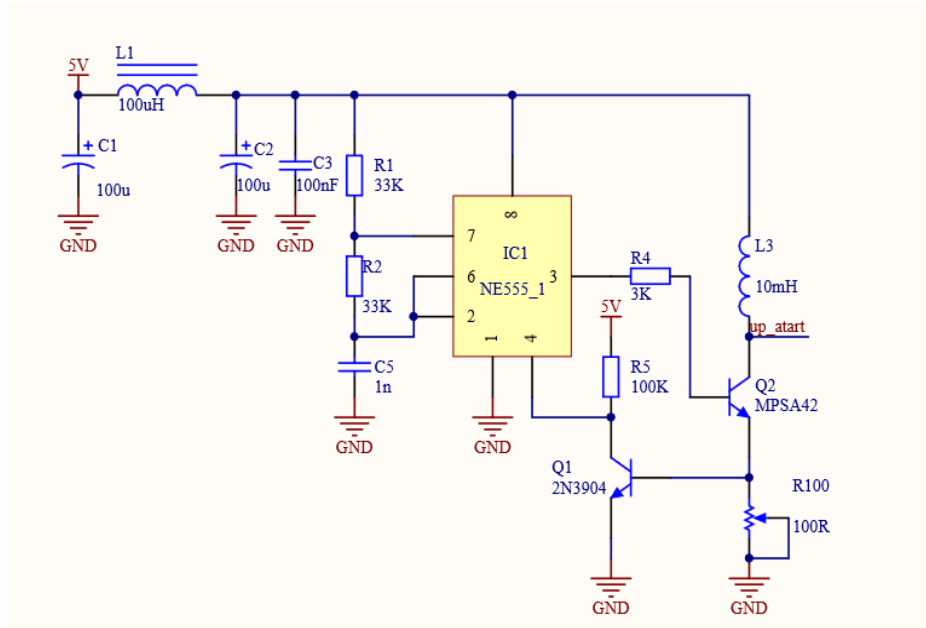
### 3.2. Elektronik Devrenin İncelenmesi ve Elektriksel Kalibrasyon

#### 3.2.1. Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi

Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi toplamda altı adım olarak gerçekleştirilmiştir.

##### 1.Adım 1

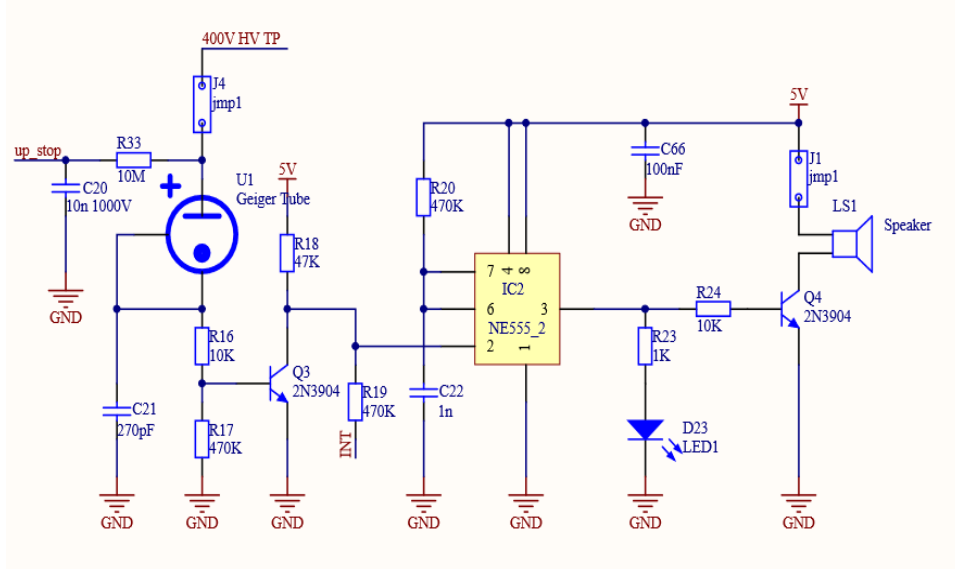
##### Gerilim Modülü Tasarımı



Şekil 3. Gerilim Modülü Tasarımı

## 2.Adım 2

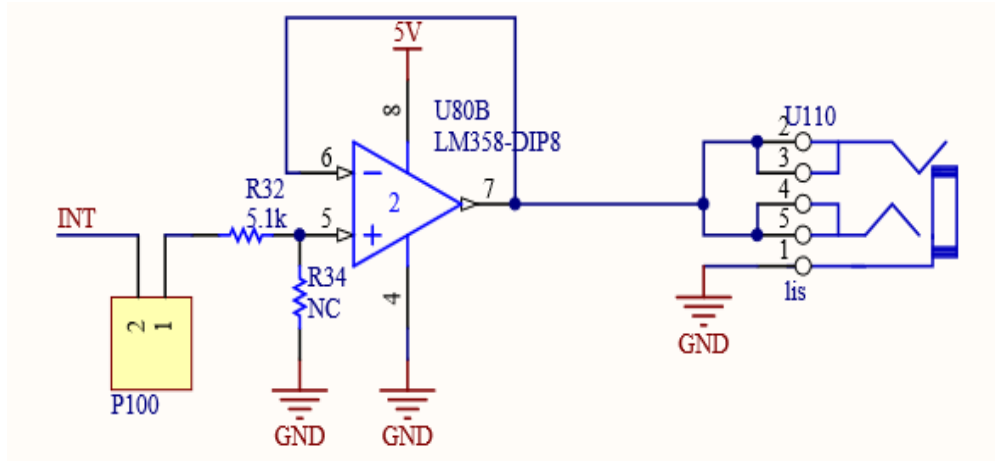
### Gaiger- Müller Tüplü Ana Modül



Şekil 4. Gaiger- Muller Tüpü Ana Modül Tasarımı

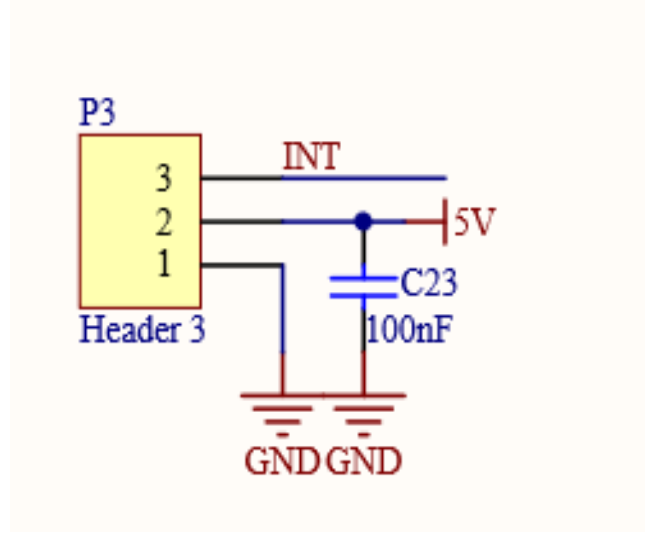
## 3.Adım 3

### Çıkış Modülü (Mikrofon)



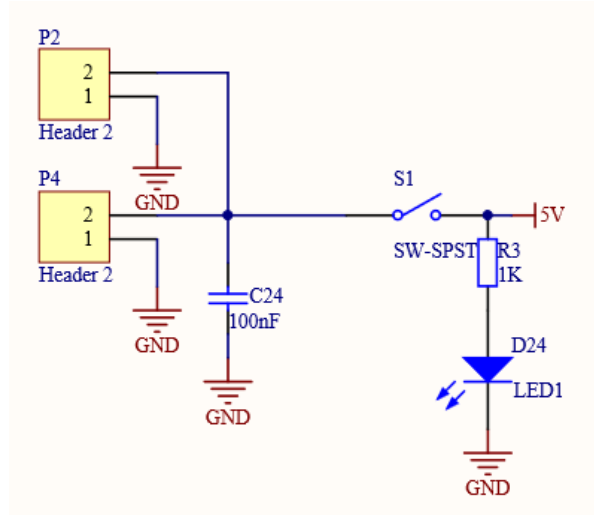
Şekil 5. Çıkış Modülü Tasarımı

4.Adım 4  
Çıkış eklentisi



Şekil 6. Çıkış Eklentisi Tasarımı

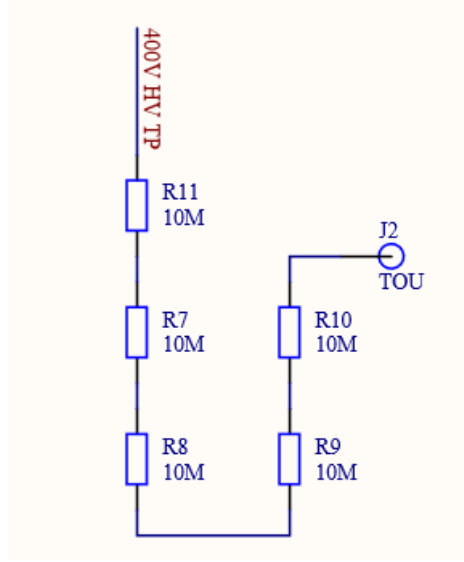
5.Adım 5  
Geçiş Entegresi



Şekil 7. Geçiş Entegresi Tasarımı

## 6.Adım 6

### Geri beslemeli Test Modülü



Şekil 8. Geri Beslemeli Test Modülü Tasarımı

#### 4. BULGULAR

##### 4.1. Ölçüm Deneyindeki Kullanılacak Malzemelerin Listesi

Gündelik yaşamda kullanılan malzemelerin Radyasyon seviyesinin Ölçülmesi ve not edilerek tablo halinde gösterilmektedir.

Tablo 3. Ölçümü Yapılacak Olan Malzeme Listesi

Malzeme İsmi	
1.	Airfryer
2.	Akıllı Bileklik Saat
3.	Araba
4.	Bilgisayar
5.	Bulaşık Makinesi
6.	Buzdolabı
7.	Cam Bardak
8.	Çamaşır Makinesi
9.	Hava Temizleme Aracı
10.	Fanlı Isıtıcı
11.	Kamera
12.	Kettle
13.	Porselen Bardak
14.	Kurutma Makinesi
15.	Modem
16.	Dijital Piyano
17.	Robot Süpürge
18.	Saç Kurutma Makinesi
19.	Cep Telefonu
20.	Radyum

#### 4.1.1.Ölçüm deney sonuçları

Radyasyon değerleri mS (MiliSivert) cinsinden ölçülerek not edilmiştir.

1.uSv değerini hesaplama

GM Tüp modeli: M4011

1uSv/h = 151 CPM

2.Anlık uSv değerini hesaplamak için formül:

Anlık uSv = ((Geçen Milisaniye / 60000) \* Sayılan Ticks) / CPM

3.Anlık uSv güvenlik seviyesi:

$\leq 0,52$  Safe,  $> 0,52$  ve  $< 10$  Unsafe,  $> 10$  UNSAFE!!!

4.voltajı hesaplama

J2 test noktasında (PCB'nin sağ üst köşesi), voltajı ayarlamak için R100'ü kullanılmıştır, hesaplanacak formül:

Çıkış voltajı =  $V_{read} * ((60m + R_{voltageMeter}) / R_{voltageMeter})$

Ölçümler, gündelik yaşamda ve 25 °C sıcaklıkta, kapalı alanlarda (ev ve araba içi) gerçekleştirilmiştir.

Tezde istenildiği gibi değerler fotoğraflı bir şekilde not edilmiştir. Sonuç kısmındaki değerlendirme şu şekildedir;

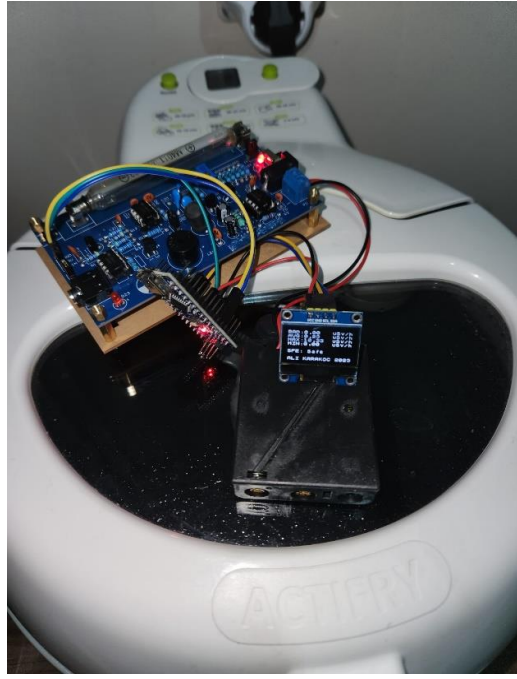
$\leq 0,52$  Safe,  $> 0,52$  ve  $< 10$  Unsafe,  $> 10$  UNSAFE!!!

Tablo 3.1 referans alınarak Yıllık Doz oranlarının hesaplanması halinde, Normal bireyler için 0,52 uSv Altında olan değerler Güvenlidir.

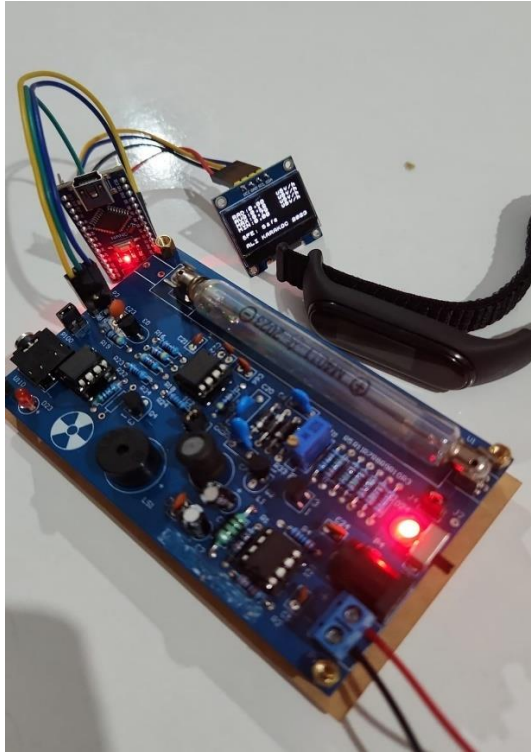
Tablo 4. Ölçüm Sonuçları Tablosu

	Malzeme İsmi	Değerler	Sonuç
1.	Airfryer	0.00 uSv	Güvenli
2.	Akıllı Bileklik Saat	0.00 uSv	Güvenli
3.	Araba	0.40 uSv	Güvenli
4.	Bilgisayar	0.79 uSv	Güvenli Değil
5.	Bulaşık Makinesi	0.00 uSv	Güvenli
6.	Buzdolabı	0.00 uSv	Güvenli
7.	Cam Bardak	0.00 uSv	Güvenli
8.	Çamaşır Makinesi	0.40 uSv	Güvenli
9.	Hava Temizleme Aracı	0.79 uSv	Güvenli Değil
10.	Fanlı Isıtıcı	0.00 uSv	Güvenli
11.	Kamera	0.00 uSv	Güvenli
12.	Kettle	0.00 uSv	Güvenli
13.	Porselen Bardak	0.79 uSv	Güvenli Değil
14.	Kurutma Makinesi	0.00 uSv	Güvenli
15.	Modem	1.19 uSv	Güvenli Değil
16.	Dijital Piyano	0.00 uSv	Güvenli
17.	Robot Süpürge	0.40 uSv	Güvenli
18.	Saç Kurutma Makinesi	0.40 uSv	Güvenli
19.	Cep Telefonu	0.79 uSv	Güvenli Değil
20.	Radyum	0.79 uSv	Güvenli Değil

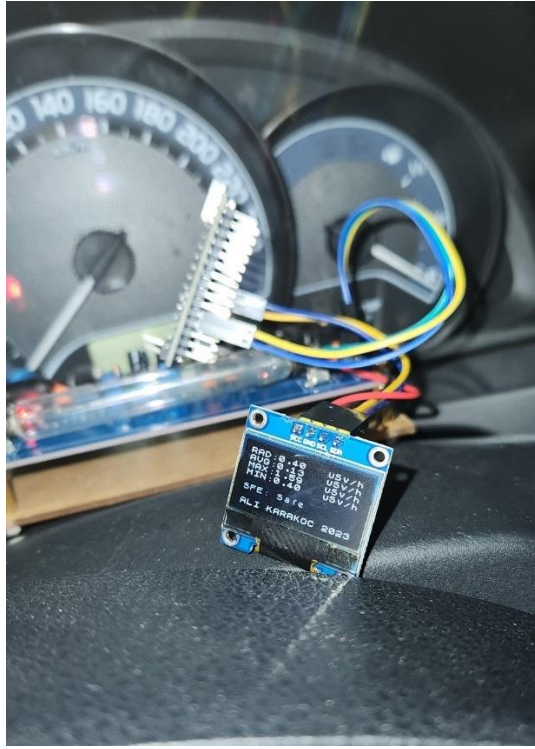
Aşağıda sıralı bir şekilde ölçüm yapılan malzemelerin, ölçüm sırasında çekilen fotoğrafları bulunmaktadır;



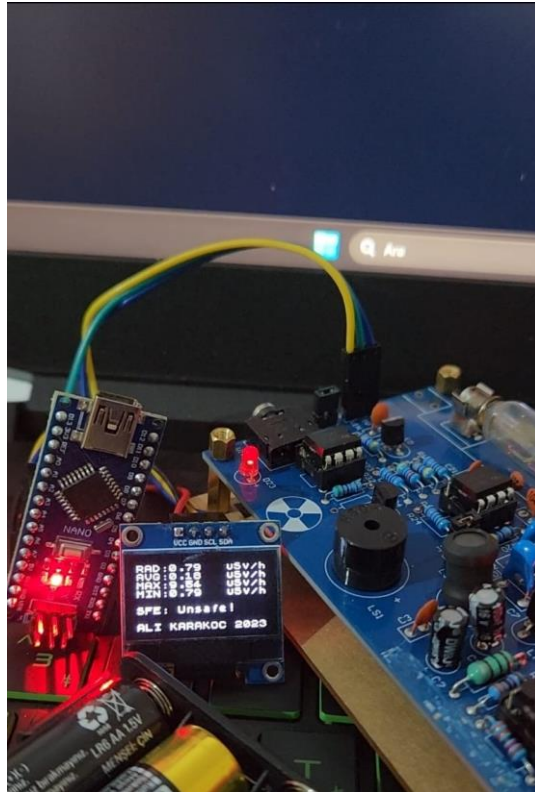
Şekil 9. Airfryer Ölçüm Sonucu



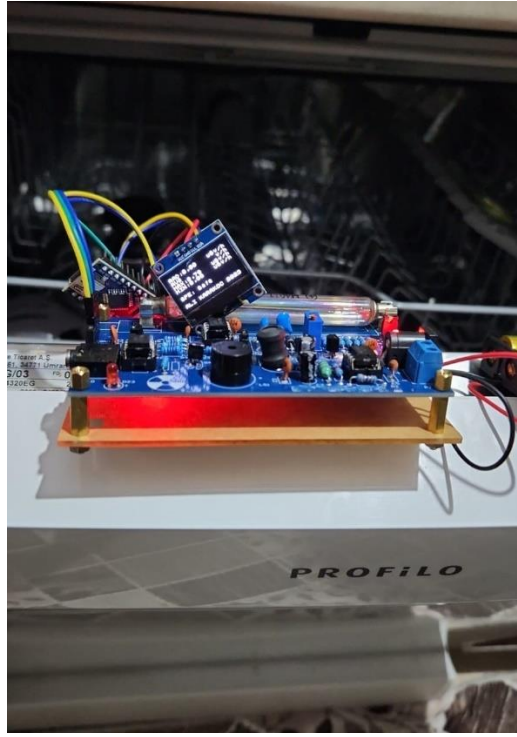
Şekil 10. Akıllı Bileklik Saat Ölçüm Sonucu



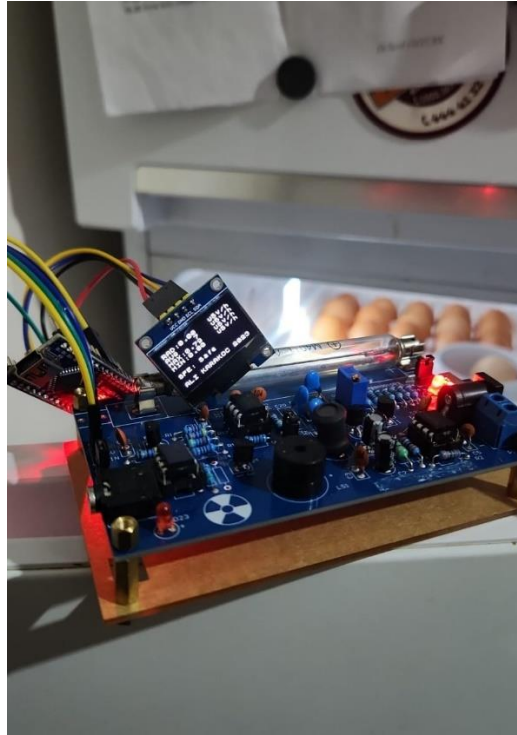
Şekil 11. Araba Ölçüm Sonucu



Şekil 12. Bilgisayar Ölçüm Sonucu



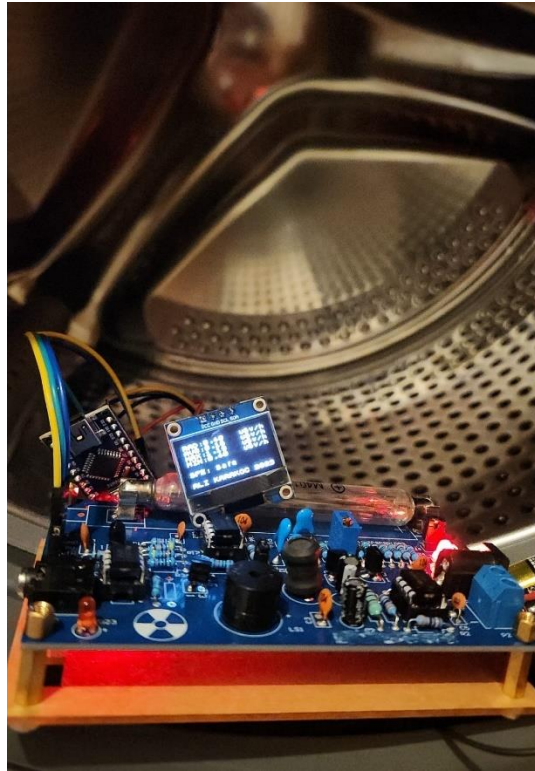
Şekil 13. Bulaşık Makinesi Ölçüm Sonucu



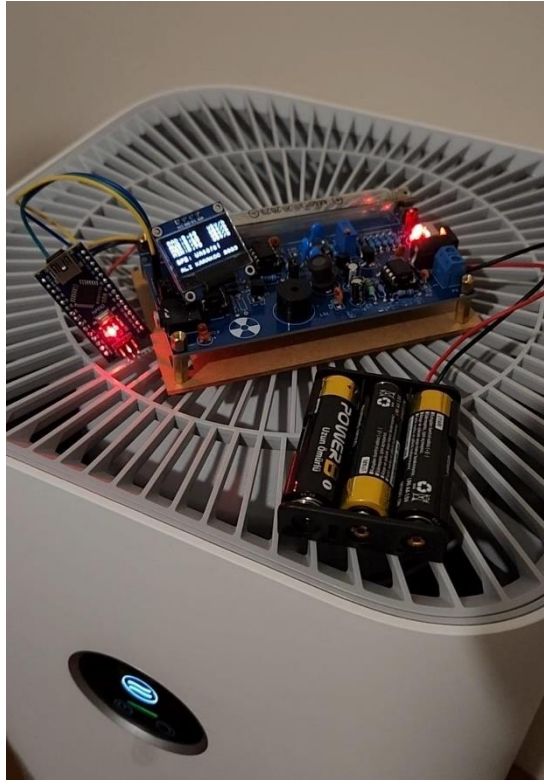
Şekil 14. Buzdolabı Ölçüm Sonucu



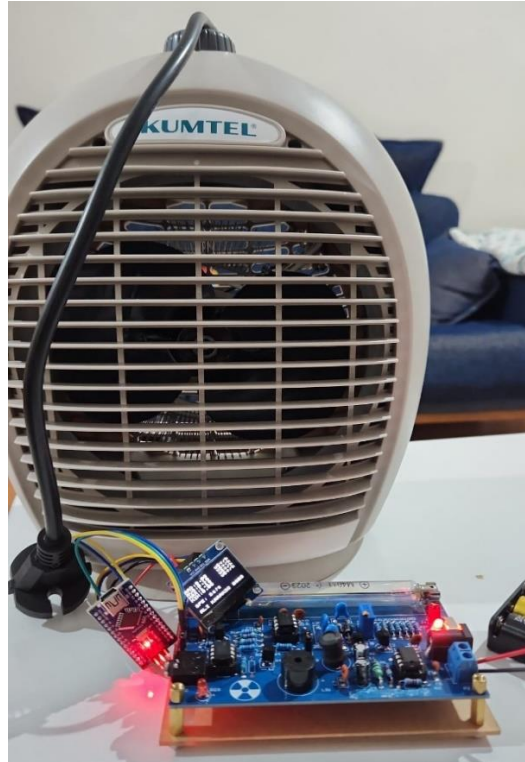
Şekil 15. Cam Bardak Ölçüm Sonucu



Şekil 16. Çamaşır Makinesi Ölçüm Sonucu



Şekil 17. Hava Temizleme Aracı Ölçüm Sonucu



Şekil 18. Fanlı Isıtıcı Ölçüm Sonucu



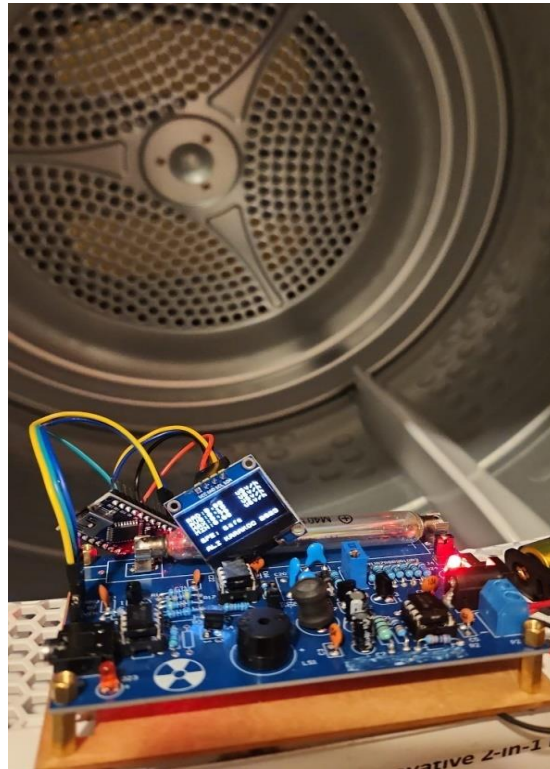
Şekil 19. Kamera Ölçüm Sonucu



Şekil 20. Kettle Ölçüm Sonucu



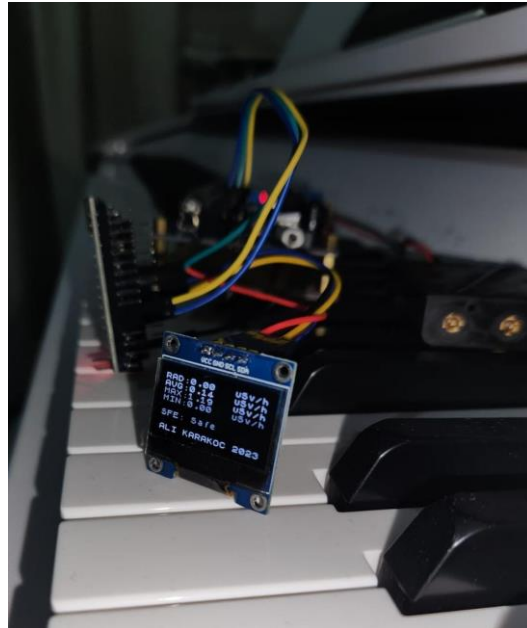
Şekil 21. Porselen Bardak Ölçüm Sonucu



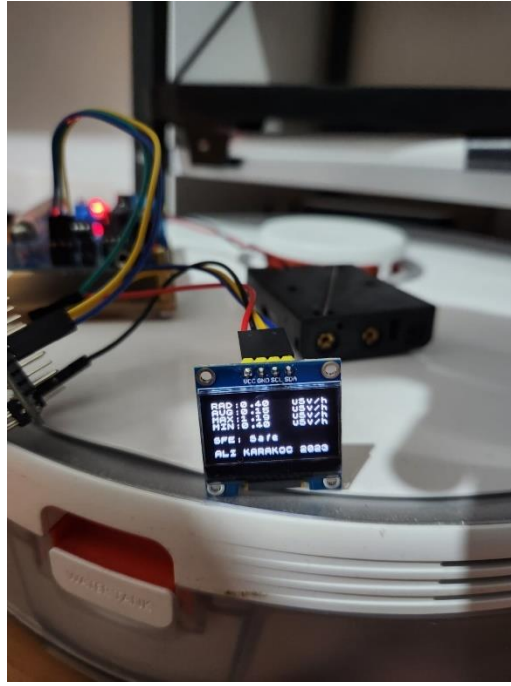
Şekil 22. Kurutma Makinesi Ölçüm Sonucu



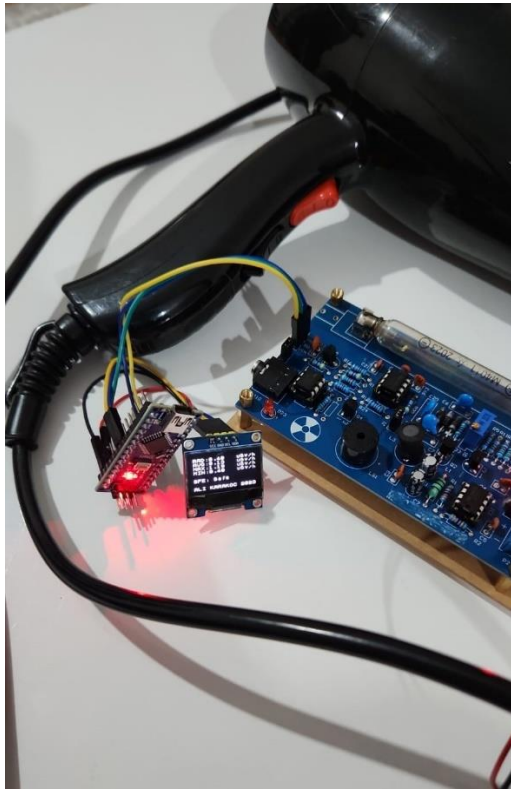
Şekil 23. Modem Ölçüm Sonucu



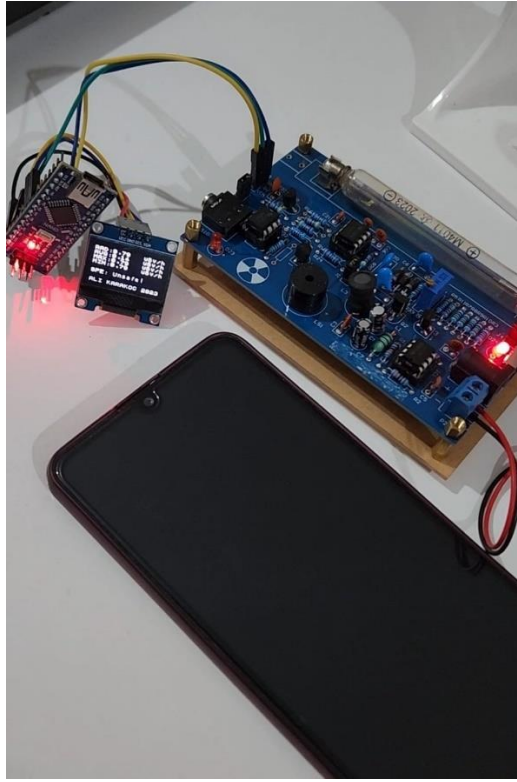
Şekil 24. Dijital Piyano Ölçüm Sonucu



Şekil 25. Robot Süpürge Ölçüm Sonucu



Şekil 26. Saç Kurutma Makinesi Ölçüm Sonucu



Şekil 27. Cep Telefonu Ölçüm Sonucu



Şekil 28. Radyum Ölçüm Sonucu

## **5. SONUÇLAR, TARTIŞMA, İLERİDE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR, SONUÇ ve ÖNERİLER**

Günümüzde radyasyonun hassas ölçümünün izlenmesi, nükleer santrallerde, tıbbi tedavilerde, endüstriyel kullanımlarda ve radyasyonla ilgili diğer alanlarda önemli bir konudur. Radyasyon dedektörleri bu amaçla yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Geiger-Müller sayacının nasıl çalıştığı ve radyasyon seviyelerini ölçmek için kullanımı aşağıda tartışılmıştır.

Radyasyon dedektörleri, radyasyonun varlığını tespit etmek ve ölçmek için kullanılan cihazlardır. Geiger-Müller sayacı en yaygın kullanılan radyasyon dedektörlerinden biridir. Bu dedektörler alfa, beta ve gama radyasyonu gibi farklı radyasyon türlerini tespit edebilir.

Bir gaz tüpü ve dahili bir sayma ünitesi ile çalışırlar. Radyasyon parçacıkları tüpe girdiğinde Geiger-Müller geri dönüşü gaz moleküllerini iyonize eder. Bu iyonizasyon olayı bir akım oluşturur ve sayma ünitesi tarafından tespit edilir. Sayma birimi, radyasyon seviyelerini ölçmek için kullanılan bir ölçüm olan dakika başına sayım (cpm) veya saniye başına sayım (cps) cinsinden ifade edilen bir sayım hızı sağlar.

Radyasyon seviyelerini ölçmek için bir Geiger-Müller sayacının kalibre edilmesi gerekir. Bu, belirli bir radyasyon seviyesine karşılık gelen sayacın üreteceği sayaç hızı için bir referans değerinin belirlenmesini içerir. Tipik olarak kalibrasyon standartları kullanılır ve ölçüm cihazının doğruluğunu sağlamak için periyodik kalibrasyon önerilir. Radyasyon seviyelerinin doğru ölçümü birçok faktöre bağlıdır. Öncelikle dedektörün doğru şekilde kalibre edilmesi gerekir.

Dedektörün kullanıldığı ortamı etkileyebilecek diğer faktörlerin de dikkate alınması önemlidir. Örneğin atmosferik koşullar, diğer arka plan radyasyon kaynakları ve dedektör hassasiyeti gibi faktörler ölçüm sonuçlarını etkileyebilir. Bu nedenle radyasyon dedektörü veya Geiger-Müller sayacı radyasyon seviyelerini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Uygun şekilde kalibre edildiğinde ve kullanıldığında bu dedektörler, radyasyonun varlığını tespit etmek ve ölçmek için güvenilir bir yöntemdir. Ancak ölçümlerinizin doğruluğunu sağlamak için uygun kalibrasyonu sağlamak ve diğer etkileyici faktörleri dikkate almak önemlidir.

Porselen, seramik bir malzeme olduğundan, bazı seramik türleri doğal olarak radyoaktif olabilir. Özellikle doğal kaynaklardan elde edilen bazı kil ve mineral karışımları, radyoaktif elementler içerebilir.

Radyasyon ölçümleri nükleer güvenlik, tıbbi teşhis ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır ve doğru ölçümler kritik öneme sahiptir. Radyasyonun insan sağlığı üzerinde potansiyel etkileri vardır. Bu etkiler radyasyonun dozuna, tipine, süresine ve maruz kalan alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İnsan sağlığına etkileri şunları içerebilir:

1. Akut Etkiler: Aniden yüksek miktarda radyasyona maruz kalırsanız akut etkiler ortaya çıkabilir. Bu olumsuz etkiler bulantı, kusma, ciltte yanıklar, saç dökülmesi, organ yetmezliği ve ölümü içerebilir. Örneğin, radyoterapi tedavisi sırasında nükleer felaketler veya aşırı radyasyona maruz kalma, akut etkilere yol açabilir.

2. Kronik Etkiler: Düşük dozda radyasyona sürekli maruz kalma sürdürülürse bunun sonucunda kronik etkiler ortaya çıkabilir. Bu etkiler arasında kanser gelişimi, genetik bozukluklar, bağışıklık sistemi sorunları ve organlarda uzun vadeli hasarlar yer alabilir. İşyerinde çok fazla zaman harcamak zorunda kalmak veya uzun vadeli etkilere yol açan tekrar tekrar tıbbi prosedürlere girmek zorunda kalmak gibi durumlar kronik olarak değerlendirilebilir.

3. Radyasyon Hastalığı: Yüksek dozda radyasyona maruz kalmak radyasyon hastalığına yol açabilir. Radyasyon hastalığı hızla büyüyen hücreler (örneğin kan hücreleri, bağışıklık hücreleri) tarafından tetiklenir. Semptomlar yorgunluk, ateş, enfeksiyonlar, kanama ve anemiyi içerebilir. Yüksek konsantrasyonda radyasyona maruz kalan kişilerde radyasyon hastalığı mümkündür.

4. Fetal Etkiler: Hamile kadınlar, çocuklarının radyasyona maruz kalması konusunda bilinçli olmalıdır. Yüksek radyasyon dozlarının yakınında olmak, doğuştan anormalliklere, zihinsel gelişimde gecikmeye ve kanser olasılığının artmasına neden olabilir. Sonuç olarak hamile kadınların radyasyona maruz kalmaması için önlem alması hayati önem taşımaktadır.

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ciddidir, bu nedenle çok fazla radyasyona maruz kalan veya radyasyona duyarlı kişilerin ekstra dikkat etmesi gereklidir. Radyasyonun güvenliği her şeyden önemlidir, maruziyet mümkün olduğu kadar azaltılır, koruyucu ekipman

kullanılır, maksimum maruziyet aşılmaz ve uygun eğitimler verilmelidir. Radyasyon düzeyini düzenli olarak değerlendirmek ve düzenlemek de önemlidir.

Radyasyon tespit cihazları radyasyonu tanımak ve ölçmek için kullanılan hayati cihazlardır. Geiger-Müller sayacı bu amaçla kullanılan yaygın bir dedektördür. Bir radyasyon dedektörü oluşturmak ve radyasyon seviyesini ölçmek için kendi cihazınızı yapmak istenildiğinde bazı rehberlikler aşağıdaki gibi sunulabilir.

1. Geiger-Müller Sayacı Tüpü: Öncelikle Geiger-Müller sayacının ana bileşeni olan tüp temin edilmelidir. Bu kanal radyasyon parçacıklarının tespitine ve iyonizasyonuna ayrılmıştır. Geiger-Müller tüplerinin farklı çeşitleri ve boyutları mevcuttur, bu nedenle ihtiyaçları karşılayan tüp seçilmelidir.
2. Yüksek Gerilim Güç Kaynağı: Radyasyon dedektörünün çalışması için yüksek voltaj gereklidir. Bu, tüpteki gazın iyonlaşmasını kolaylaştırmak ve elektrik üretmek için önemlidir. Yüksek voltaj kaynağı, genellikle bir pil veya güç kaynağı olan dönüştürülmüş bir güç kaynağı olabilir.
3. Sayma Birimi: Radyasyonun derecesini ölçmek için sayan bir birim gereklidir. Bu ünite radyasyon parçacıklarını tespit eder ve sayacın hızını (cpm veya cps cinsinden) hesaplar. Sayacın ünitesi tipik olarak bir mikro denetleyici veya dijital ekran ile uygulanır.
4. Kontrol Devreleri ve Bağlantıları: Kontrol devreleri ve bağlantıları, radyasyon dedektörün düzgün çalışması için önemlidir. Bu devreler yüksek gerilim kaynağını düzenlemek, sayacı okumak ve bilgileri işlemek için kullanılır. Özellikle mikro denetleyici tabanlı bir sistem kullanıyorsanız, bu devreleri ve bağlantıları tasarlamak ve uygulamak çok önemlidir.
5. Kalibrasyon Standardı: Radyasyon dedektörünüzü doğru şekilde kalibre etmek için bir kalibrasyon standardı gereklidir. Bu, dedektörün belirli bir radyasyon seviyesiyle orantılı bir sayaç üretmesini sağlamak için kullanılır. Tutarlı ve doğru ölçümler sağlamak için kalibrasyon standardı sıklıkla kullanılmalıdır.
6. Koruyucu Kılıf: Radyasyon dedektörünü korumak ve bunu güvenli bir şekilde yapmak için koruyucu bir kılıf kullanılması önerilir. Bu, dedektörün dış etkenlere karşı dayanıklılığını artırır ve kullanıcıyı radyasyondan korur.

Bu fikirler kendi radyasyon dedektörünüzü yaratmanın temel bileşenlerini kapsamaktadır. Ancak bir radyasyon dedektörü oluşturmak karmaşık olabilir ve uzmanlık gerektirebilir. Sonuç olarak, güvenlik ve doğruluk açısından ticari olarak tasarlanmış ve önceden

onaylanmış bir radyasyon dedektörü kullanmak daha etkili olabilir. Kendi dedektörünüzü yapmayı düşünüyorsanız, bölgenizdeki radyasyon güvenliğiyle ilgili güvenlik kurallarına ve düzenlemelerine uymanız çok önemlidir. Radyasyonla ilgili herhangi bir deney veya ölçüm yapmadan önce bir profesyonelden tavsiye alınması da önerilir. Radyasyon seviyesinin ölçümü ve insan sağlığı hakkında bazı malzemelerle ilgili öneriler şunlar olabilir:

1.Radyasyon Dedektörleri: Bu cihazlar esas olarak radyasyon seviyesini ölçmek için kullanılır. Geiger-Müller sayacı, iyon odası ve taramalı elektron mikroskobu gibi farklı çeşitleri mevcuttur. Bu dedektörler radyasyonun varlığını ve büyüklüğünü tanıyarak radyasyona maruz kalmayla ilişkili potansiyel tehlikelerin tanımlanmasını kolaylaştırır. İşyerlerinde, nükleer santrallerde veya radyasyona maruz kalma riski olan diğer ortamlarda radyasyon sensörlerinin kullanılması çok önemlidir.

2.Radyasyon kalkanları: Bu kalkanlar insanları radyasyondan korumak için kullanılır ve insan sağlığının korunması açısından hayati öneme sahiptir. Kurşun veya beton gibi yüksek yoğunluklu maddeler radyasyonun yayılmasını önler ve insanları radyasyon kaynağından korur. Özellikle tıbbi görüntüleme merkezleri, nükleer tesisler veya araştırma laboratuvarları gibi alanlarda kalkanların doğru kullanılması gerekmektedir.

3.Radyasyondan korunmanın diğer önemli yönleri, radyasyona karşı koruma sağlamak üzere tasarlanmış özel giysilerdir. Bu giysiler radyasyonun cilde direktliğini azaltarak insanlara kalkan görevi görmektedir. Radyasyon alanlarında çalışan profesyoneller tarafından kurşun önlükler, kurşun eldivenler veya kurşunlu camlı gözlükler gibi koruyucu giysiler kullanılmalıdır.

4.Radyasyon Filtreleri: Radyasyonun geçişini azaltan filtreler insan sağlığı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Örneğin, hava filtreleri kullanan nükleer santraller radyasyonun atmosfere yayılmasını engeller ve çalışanların havasının temiz olmasını sağlar. Radyasyon kalkanları radyasyon kaynaklarının bulunduğu bölgelerde veya nükleer felaketlerin ardından kullanılabilir.

5.Radyasyon İzleme Cihazı: Radyasyon seviyesini sürekli ölçen cihazlar insan sağlığı açısından hayati öneme sahiptir. Bu cihazlar radyasyona maruz kalmayı takip ederek insanları potansiyel tehlikelere karşı uarmaya yardımcı olur. Radyasyon tespit cihazlarını kullanmak özellikle radyasyona maruz kalma riski taşıyan mesleklerde çalışanlar için geçerlidir.

6.Eğitim ve Bilinçlendirme: Radyasyonun etkilerini anlatan bilgiye dayalı eğitim ve kampanyalar, insan sağlığının korunmasında da önemli bir role sahiptir. İnsanların

radasyonun tehlikelerini anlamaları ve önleyici tedbirler alabilmeleri için eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır.

Radyasyon dedektörü yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümü, nükleer fizik, sağlık, çevre bilimleri ve mühendislik alanlarında önemli araştırma konularıdır. Bu alanda yapılabilecek çalışmalar ve projeler şunlar olabilir:

- 1.Radyasyonun Sağlık Üzerindeki Etkileri: Uzun süreli radyasyon maruziyetinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar.
- 2.Çevresel Radyasyon İzleme: Yerel çevrelerdeki radyasyon seviyelerinin izlenmesi ve raporlanması.
- 3.Eğitim Programları: Radyasyon dedektörlerinin kullanımı ve radyasyon güvenliği hakkında eğitim programları geliştirmek.
- 4.Yeni Malzemeler Geliştirme: Daha etkili radyasyon absorbe eden veya yayılımını azaltan malzemelerin araştırılması.

Radyasyon düzeylerini ölçen ve insan sağlığını geliştiren malzemelerin kullanımı, günümüzde oldukça önemli bir konudur. Bu tür malzemelerin geliştirilmesi, hem bireylerin hem de toplumların sağlık güvenliğini artırmada büyük bir rol oynayabilir. Radyasyon riski taşıyan durumlarla karşılaştığımızda, uzmanların rehberliği, doğru analizler ve güvenli uygulamalar için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, bu alandaki çalışmalara katılanların, hem teknik bilgiye sahip olmaları hem de güvenlik protokollerine uymaları gerekmektedir. Sonuç olarak, bilinçli bir yaklaşım ve uzman desteği, radyasyonla ilgili projelerin başarısını ve güvenliğini artırır.

## KAYNAKÇA

- Ahmed, S. N. (2007) *Physics and Engineering of Radiation Detection*, Academic Press, Great Britain, 497.
- Becquerel, H. (1896) "Sur les radiations émises par phosphorescence. (On the radiation emitted by phosphorescence)", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 420-421.
- Brown, C (2021) "Radyasyon Ölçümleri ve Sağlık Kontrolleri", *Radyasyon Güvenliği ve Sağlık Dergisi*, 112-130.
- Çimen, B., Erdoğan M., Oğul R. (2017) "İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri Ekim", *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 139-147.
- Deo, J. (2015) "Radyasyondan Korunma: Yasalar ve Yönetmelikler", *Radyasyon Araştırmaları Bülteni*, 78-95.
- Deo, J. (2020) "Radyasyonun Etkileri ve Korunma Yöntemleri", *Radyasyon Araştırmaları Bülteni*, 78-95.
- International Commission on Radiological Protection. (2007). *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (ICRP Publication 103).
- International, Atomic Energy Agency (2009) "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources", *International Basic Safety Standards*, Vienna, Austria.
- International, Atomic Energy Agency (2014) "The Safe Use of Radiation: Sources, Safety, and Security", *International Atomic Energy Agency*, Vienna, Austria.
- International, Commission on Radiological Protection (2018) "Radyasyon Dozu ve Korunma Standartları", *Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı*, Yayın No: 116.
- Johnson, R. (2019) "Radyasyon Kalkanları ve Kişisel Koruyucu Ekipmanlar", *Radyasyon Korunma Raporları*, 12-28.
- Jones, A. (2017) "Radyasyon ve Kanser İlişkisi", *Sağlık Dergisi*, 45-62.
- Kano, Y. (1966) "The fluctuation formula for the photon number in stationary electromagnetic fields", *Il Nuovo Cimento B* 1966.
- Kaynak, B. (2018) "Plastik sintilatörler ile radyasyon ölçümü ve geant ile benzetim çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı, İstanbul, 71.
- Knoll, G.F. (2010) "Radiation Detection and Measurement", *Professor of Nuclear Engineering and Radiological Sciences University of Michigan*, Michigan, USA.
- Kurudirek, S.V. (2015) "Hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nanoçubukların karakterizasyonu ve radyasyon dedektörü olarak kullanılabilirliğinin araştırılması",

- Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Katıhal Fiziği Bilim Dalı, Erzurum, 165.*
- Martin, A. (2011) "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", *Professor of Medical Physics University of Wisconsin Medical School Madison, Madison, Wisconsin.*
- McKenzie, JM. (1979) "Development of the semiconductor radiation detector", *Nuclear Instruments and Methods*, 1-3(162), 49-73.
- Özdemir, F.B. (2016) "Çok silikonlu radyasyon dedektörünün yapım aşamasında veri toplama, analiz ve benzetim çalışmalarının gerçekleştirilmesi", *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Isparta, 135.*
- Rayn, Rd. (1973) "Precision measurements of the ionization energy and its temperature variation in high purity silicon radiation detectors", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 473-480.
- Roentgen, W.C. (1895) "Über eine neue Art von Strahlen. (On a new kind of rays)", *Sitzungsberichte der Würzburger Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft*, 137-147.
- Seco, J., Clasié B., Partridge M. (2014) "Review on the characteristics of radiation detectors for dosimetry and imaging", *Institute of Physics and Engineering in Medicine, England*, 59.
- Smith, A. (2010) "Radyasyon Güvenliği Yasaları ve Uygulamaları", *Radyasyon Dergisi*, 45-62.
- Smith, A. (2018) "Radyasyon Güvenliği Yasaları ve Uygulamaları", *Radyasyon Dergisi*, 45-62.
- Smith, B., Johnson, R. (2019) "Radyasyon ve Genetik Bozukluklar", *Genetik Araştırmalar Dergisi*, 78-95.
- United, Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000) "Sources and Effects of Ionizing Radiation", *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly*, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation.*
- Wang, J., Mulligan P., Brillson L., Cao Lr. (2015) "Review of using gallium nitride for ionizing radiation detection", *Applied Physics Reviews*, 2(3).
- World, Health Organization (2020) "Radyasyon ve Sağlık: Bir Genel Bakış", [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/about/what\\_is\\_irad/tr/](https://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_irad/tr/), Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Yaren, H., Karayılanoğlu T. (2005) “Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 199-208.

## EKLER

### Ek-1. Arduino Program Kodları

```
/*
 * Author: Ali Karakoç
 * Name: Radation Detector - v1.0
 * License: GPL-2.0
 *
 * This module counts the signal triggered from Radiation Detector circuit and use the
 * standard unit conversion formula to calculate the final radiation value, and display
 * it onto the OLED display (I2C SSD1306).
 *
 * Library Dependencies:
 * OLED Display: https://github.com/deneyapkart/deneyap-oled-ekran-arduino-library
 * Author: Deneyap Kart
 * License: GPL-2.0
 *
 */

#include <Deneyap_OLED.h>
#include "rad_accumulator.h"
#include "common.h"

#define PREFIX_LEN 4
#define VALUE_LEN 6
#define TXT_DANAGER "DANGER!!!"
#define TXT_UNSAFE "Unsafe!"
#define TXT_SAFE "Safe"

#define INTERRUPTION_DIGITAL_PIN 2

OLED OLED;
RadAccumulator Accumulator;
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  if (!OLED.begin(0x78))
  {
    delay(1000);
    Serial.println("I2C connection error");
    return;
  }

  OLED.clearDisplay();
  Accumulator.setup(INTERRUPTION_DIGITAL_PIN);

  OLED.setTextXY(3, 3);
  OLED.putString("BOOTING");
  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    delay(200);
    OLED.setTextXY(3, 10 + i);
    OLED.putChar('.');
  }

  delay(200);
  OLED.clearDisplay();

  OLED.setTextXY(0, 0);
  OLED.putString("*****");

  OLED.setTextXY(3, 0);
  OLED.putString("RAD. DETECTOR BY");
  OLED.setTextXY(4, 2);
  OLED.putString("ALI KARAKOC");

  OLED.setTextXY(7, 0);

```

```

OLED.putString("*****");

delay(2000);
OLED.clearDisplay();

// GUI layout warm up
printAllValues(0, 0, 0, 0, true);
printFooter("ALI KARAKOC 2023");
}

unsigned long __G_lasttime = 0;
unsigned int __G_last_safety_text_len = 0;

void loop()
{
  if (__G_lasttime == 0)
  {
    __G_lasttime = millis();
    return;
  }

  unsigned long cur = millis();
  unsigned long delta = max(0, cur - __G_lasttime);

  __G_lasttime = cur;

#ifdef PRINT_VERBOSE_LOGS
  Serial.print(F("frame delta: "));
  Serial.println(delta);
#endif

  update(delta);
}

```

```

void update(unsigned long delta)
{
    Accumulator.update(delta);

    printAllValues(
        Accumulator.GetLastUSV(),
        Accumulator.GetHistoryAvg(),
        Accumulator.GetHistoryMax(),
        Accumulator.GetHistoryMin(),
        true
    );
}

```

```

void fillText(unsigned char row, unsigned char cell, const char* text, unsigned char maxLen)
{
    size_t len = strlen(text);
    unsigned int rem = max(0, maxLen - len);

    OLED.setTextXY(row, cell);
    OLED.putString(text);

    if (rem > 0)
    {
        cell += len;
        for (int i = 0; i < rem; i++)
        {
            OLED.setTextXY(row, cell + i);
            OLED.putChar(' ');
        }
    }
}

```

```

void fillText(unsigned char row, unsigned char cell, float value, unsigned char decimal,
unsigned char maxLen)

```

```

{
    OLED.setTextXY(row, cell);
    char valueLen = OLED.putFloat(value, decimal);

    unsigned int rem = max(0, maxLen - valueLen);
    if (rem > 0)
    {
        cell += valueLen;
        for (int i = 0; i < rem; i++)
        {
            OLED.setTextXY(row, cell + i);
            OLED.putChar(' ');
        }
    }
}

/*
UI layout:
RAD: 0.00 uSv/h   MAX: 0.00 uSv/h
AVG: 0.00 uSv/h   MIN: 0.00 uSv/h
SAFETY: Safe
ALI KARAKOC 2023
*/

inline void printAllValues(float radValue, float avgValue, float maxValue, float minValue,
bool updateText)
{
    // current radiation value
    printValue(0, 0, "RAD:", radValue, " uSv/h", updateText);
    // history average radiation value since booted up
    printValue(1, 0, "AVG:", avgValue, " uSv/h", updateText);
    // history maximum radiation value detected since booted up
    printValue(2, 0, "MAX:", maxValue, " uSv/h", updateText);
    // history minimum radiation value detected since booted up
    printValue(3, 0, "MIN:", minValue, " uSv/h", updateText);
}

```

```

// safty level (<= 0.52 safe, > 0.52 and < 10 Unsafe, > 10 DANGER!!!)
printSafetyLevel(5, 0, "SFE:", radValue, updateText);
}

void printValue(unsigned char row, unsigned char cell, const char* prefix, float value, const
char* postfix, bool updateText)
{
    unsigned char curCell = cell;
    if (updateText)
    {
        OLED.setTextXY(row, curCell);
        OLED.putString(prefix);
    }

    // not use `strlen` here to make the code more efficient
    curCell += PREFIX_LEN;
    fillText(row, curCell, value, 2, VALUE_LEN);

    if (updateText)
    {
        curCell += VALUE_LEN;
        OLED.setTextXY(row, curCell);
        OLED.putString(postfix);
    }
}

void printSafetyLevel(unsigned char row, unsigned char cell, const char* prefix, float
radValue, bool updateText)
{
    unsigned char curCell = cell;
    if (updateText)
    {
        OLED.setTextXY(row, curCell);
        OLED.putString(prefix);
    }
}

```

```

}

curCell += PREFIX_LEN + 1;

char* levelStr = "";
if (radValue >= 10)
    levelStr = TXT_DANAGER;
else if (radValue < 10 && radValue >= 0.52)
    levelStr = TXT_UNSAFE;
else if (radValue < 0.52)
    levelStr = TXT_SAFE;

size_t len = strlen(levelStr);
if (len != __G_last_safety_text_len)
{
    __G_last_safety_text_len = len;
    fillText(row, curCell, levelStr, 9); // 9 = strlen(TXT_DANAGER)
}
else
{
    OLED.setTextXY(row, curCell);
    OLED.putString(levelStr);
}
}

void printFooter(const char* str)
{
    OLED.setTextXY(7, 0);
    OLED.putString(str);
}

```